



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

ANALÝZA SVAROVÝCH SPOJŮ Z TERMOPLASTŮ

ANALYSIS OF THERMOPLASTIC WELDED JOINTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

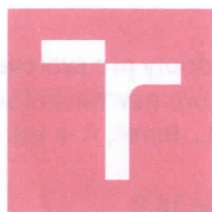
Bc. Martin Procházka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROMAN GRATZA, Ph.D.

BRNO 2018



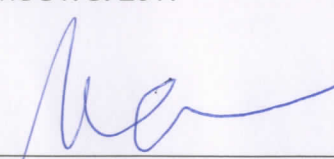
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ


Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavební mechaniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Procházka
Název	Analýza svarových spojů z termoplastů
Vedoucí práce	Ing. Roman Gratza, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017


prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 1778 Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů, 2002.

Loyda, M., Šponer, V., Ondráček, L., Bareš, A. a kol. Svařování termoplastů. UNO Praha spol. s r. o., 2011.

Theory Reference – ANSYS, release 18.0.

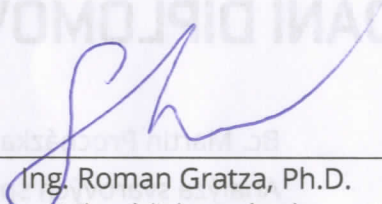
ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provést experimenty svarových spojů z termoplastů tahem a ohybem. Staticky analyzovat svarové spoje. Statické analýzy provést tradičním způsobem s využitím doporučených norem či směrnic a pomocí vhodného numerického modelu programovým systémem ANSYS.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Roman Gratza, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou svarových spojů z termoplastů. Byly provedeny experimenty, ve kterých byly sady nesvařovaných těles, těles s oboustrannými koutovými svary a těles s tupými svary zkoušeny tahem a tříbodovým ohybem. Pro zkoušení byly vybrány dva materiály: polypropylén a polyetylén. Dále byly vytvořeny modely zkušebních těles pomocí programu ANSYS, které byly podrobeny numerické analýze. Výsledky analýz byly porovnávány s hodnotami z analytického výpočtu a experimenty.

Klíčová slova

termoplast, svařování, koutový svar, tupý svar, tahová zkouška, ohybová zkouška, ANSYS

Abstract

This thesis deals with analyses of thermoplastic welded joints. Experiments were performed, in which the not-welded specimens and specimens with cruciform welded joints were tested by tensile and three-point bending test. For these measurements, polypropylene and polyethylene specimens were used. Afterwards, the analyses of specimen models were made in the ANSYS programme. The results of the analyses were compared with figures of the analytic calculations and measurements.

Keywords

thermoplastic, welding, filled weld, butt weld, tensile testing, flexural test, ANSYS

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Martin Procházka Analýza svarových spojů z termoplastů. Brno, 2017. 86 s., 138 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební mechaniky. Vedoucí práce Ing. Roman Gratza, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

.....
podpis autora
Martin Procházka

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 01. 2018

Bc. Martin Procházka
autor práce

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Romanu Gratzovi, Ph.D. za ochotu a cenné rady při vytváření této práce. Poděkování náleží také Ing. Václavu Sadílkovi, Ph.D., který mi byl nápomocen při měření experimentu. A v neposlední řadě patří díky mé rodině za veškerou podporu v průběhu studia.

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Polymery	4
2.1	Termoplasty	4
2.1.1	Polypropylén.....	4
2.1.2	Polyetylén	5
2.2	Vlastnosti termoplastů	5
2.2.1	Mechanické vlastnosti termoplastů.....	6
2.3	Zpracování termoplastů	6
2.3.1	Vytlačování.....	7
2.3.2	Lisování	8
2.4	Svařování	9
2.4.1	Svařování termoplastů	9
2.4.1.1	Základní parametry svařování	10
2.4.1.2	Podmínky svařování	10
2.4.2	Metody svařování termoplastů.....	11
2.4.2.1	Svařování na tupo horkým tělesem	13
2.4.2.2	Svařování extrudérem.....	14
2.4.2.3	Svařování horkým plynem	16
3	Zkoušky svarových spojů	18
3.1	Nedestruktivní zkoušky svarových spojů	18
3.2	Destruktivní zkoušky svarových spojů	19
3.2.1	Zkouška tahem.....	19
3.2.1.1	Princip zkoušky tahem	19
3.2.1.2	Vyhodnocení zkoušky tahem	20
3.2.2	Zkouška ohybem.....	21
3.2.2.1	Princip zkoušky ohybem	21
3.2.2.2	Vyhodnocení zkoušky ohybem	22
4	Experimentální část	24
4.1	Zkušební tělesa.....	24
4.2	Testovací zařízení pro zkoušení těles	31

4.2.1	Stroj pro statické zkoušení	31
4.2.2	Optický měřicí systém	32
4.3	Zkouška tahem	33
4.3.1	Výsledky ze zkoušky tahem	35
4.4	Zkouška ohybem	42
4.4.1	Výsledky ze zkoušky ohybem	43
5	Teoretická část.....	50
5.1	Ideálně pružnoplastický materiál	50
5.2	Tah	51
5.3	Ohyb.....	53
5.4	Konečné prvky	55
6	Numerické analýzy.....	56
6.1	Maximální tahová síla.....	56
6.1.1	Geometrie, síť konečných prvků a materiálové charakteristiky	57
6.1.2	Okrajové podmínky	59
6.1.3	Výpočet.....	60
6.2	Maximální ohybová síla.....	63
6.2.1	Geometrie, síť konečných prvků a materiálové charakteristiky	64
6.2.2	Okrajové podmínky	67
6.2.3	Výpočet.....	67
7	Závěr.....	71
8	Literatura.....	73
9	Seznam symbolů.....	76
10	Přílohy	78

1 Úvod

Předmětem této diplomové práce je analýza svarových spojů z termoplastů. Hlavní motivací pro její vypracování bylo zjistit chování vybraných svarových spojů během zatěžování a posoudit jejich únosnost a použitelnost v praxi. Plasty jsou ve stavebnictví v současné době aktuálním tématem a nacházejí stále více uplatnění a použití.

V práci se zabývám termoplastovými materiály, jejich využitím ve stavebnictví a vlastnostmi. Podrobněji analyzuji dva materiály, a to polypropylén a polyetylén. Dále popisují technologie zpracování termoplastů. Metody svařování termoplastů a jejich různá užití v praxi.

V této práci jsem prováděl experimenty, ve kterých byly testovány oba uvedené materiály. Pro porovnání svarových spojů jsem měl k dispozici pro každý materiál sady různých průřezů těles bez svarů, s křížovými spoji s oboustrannými koutovými a tupými svary. Tato tělesa jsem následně zatěžoval osovým tahem a třibodovým bočním ohybem, přičemž jsem měřil maximální přenesenou sílu, posuny a sledoval způsob porušení.

Pro účely této práce jsou zpracovány dvě studie v programu ANSYS. V první studii se zabývám srovnáním tahového namáhání zkušebních těles z experimentů, numerických analýz a analytických výpočtů. Ve druhé studii porovnávám výsledky z ohybových zkoušek v laboratoři a numerických analýz ohybového namáhání s analytickými výpočty.

Cílem této diplomové práce je experimentálně ověřit únosnost jednotlivých druhů svarů a srovnat hodnoty naměřené v laboratorním prostředí s hodnotami získanými pomocí programu ANSYS a analytickým výpočtem.

2 Polymery

Polymery patří mezi nejvýznamnější nekovové konstrukční materiály. Vznikají buď z organických látek synteticky, nebo přeměnou přírodních látek a lze je zařadit do makromolekulárních látek. Dělí se na:

- termoplasty,
- reaktoplasty,
- elastomery,
- termoplastické elastomery.

Polymery se nacházejí ve formě výrobků v pevném skupenství. Nicméně v určitých fázích zpracování mohou být ve stavu prakticky kapalném [11].

2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou definovány jako plastický a deformovatelný materiál. Podle struktury se rozlišují lineární a rozvětvené řetězce makromolekul. Z hlediska vnitřního uspořádání makromolekul je lze dělit na:

- amorfní (např. polyvinylchlorid),
- semikrystalické (např. polypropylén, polyetylén).

Opětovným ohřátím lze termoplasty znovu tvarovat. Termoplastové výrobky je možné svařovat a tvářet. Nespornou výhodou je, že produkce termoplastových dílců je finančně nenáročná.

2.1.1 Polypropylén

Polypropylén (PP) je semikrystalický termoplast. Ve stavebnictví se používá ve třech základních typech:

- homopolymer propylénu PP-H,
- blokový kopolymer PP-B,
- statistický kopolymer PP-R.

Polypropylén se používá zařízení v chemickém, v tiskařském a galvanotechnickém průmyslu, pro výrobu klimatizačních jednotek, nábytku, průmyslových obalů apod. [10].

2.1.2 Polyetylén

Polyetylén (PE) je semikrystalický termoplast. Existuje několik základních typů, z nichž každý má více či méně odlišné vlastnosti od ostatních:

- ultravysokomolekulární polyetylén PE-UHMW,
- vysokohustotní polyetylén PE-HD (lineární),
- středněhustotní polyetylén PE-MD,
- nízkohustotní polyetylén PE-LD (rozvětvený),
- nízkohustotní polyetylén PE-LLD (lineární),
- síťovaný polyetylén PE-X,
- polyetylén se zvýšenou teplotní stabilitou PE-RT.

Tento materiál se využívá např. pro výrobu zařízení a různých potrubí v plynárenském, v chemickém, v potravinářském průmyslu nebo třeba ve vodárenství a v elektrotechnice [2].

2.2 Vlastnosti termoplastů

Pro určení odolnosti termoplastů vůči různým faktorům se vychází z jejich základních vlastností, které se dělí do jednotlivých skupin:

- reologické,
- mechanické,
- tepelné,
- elektrické,
- ostatní.

Dále se budu zabývat pouze mechanickými vlastnostmi termoplastů, které byly potřebné pro zpracování této práce.

2.2.1 Mechanické vlastnosti termoplastů

Základní mechanické vlastnosti termoplastových materiálů se určují laboratorními zkouškami. Je třeba brát v úvahu, že při zkoušení jsou výsledné mechanické vlastnosti u polymerů ovlivňovány časem, rychlostí zatěžování a teplotou nepoměrně více, než např. u kovových materiálů nebo i skla či keramiky. Je tedy nutné při zkouškách s touto skutečností kalkulovat, řídit se normami a předpisy k tomu určenými. Mezi základní mechanické vlastnosti termoplastů se řadí:

- izotropie/anizotropie,
- hustota,
- modul pružnosti,
- modul tečení,
- Poissonův součinitel,
- součinitel smykového tření,
- pevnost.

Těmito vlastnostmi jsem se podrobněji zabýval ve své bakalářské práci [13].

2.3 Zpracování termoplastů

V této kapitole se zabývám nejdůležitějšími technologiemi nepřímo související se svařováním termoplastů. Tyto lze rozdělit do tří základních skupin:

- tvářecí technologie,
- tvarovací technologie,
- doplňkové technologie.

Při použití tvářecích technologií se značně obměňuje tvar výchozího materiálu. Dochází k velké přeměně částic původního prášku nebo granulátu na výsledný polotovar nebo výrobek. Řadí se sem odlévání, vypěňování, válcování, lisování, vstřikování a extruzi (vytlačování).

U tvarovacích technologií nedojde ke značnému přemístění částic. Materiál se již nachází ve formě polotovaru a mění se pouze jeho geometrie. Jedná se o obrábění, ohýbání, spojování termoplastů a tvarování desek. Doplňkové technologie pouze

upravují podobu výchozí suroviny, což může zahrnovat předehtání, obarvení, vysušení nebo také zesíťování, pokovování a potisk [1].

Rozdělení zpracování může podle použité metody vypadat také následujícím způsobem, z nichž každá metoda se využívá pro různé druhy výrobků:

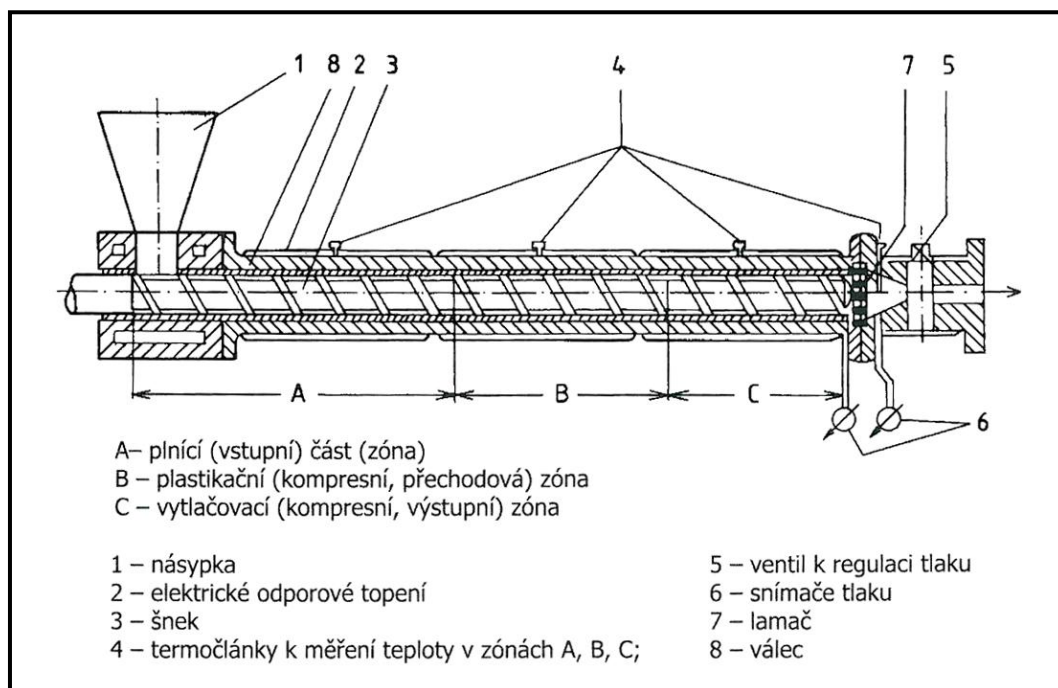
- vytlačování,
- lisování,
- vstřikování,
- válcování,
- odlévání,
- tvarování polotovarů,
- vyfukování,
- sintrování (spékání),
- vířivé nanášení,
- nanášení práškového plastu plamenem.

Pro výrobu desek se využívají především zpracovatelské technologie vytlačování a lisování.

2.3.1 Vytlačování

Tímto procesem se produkuje velké množství různých polotovarů, a to desek, plných i dutých tyčí, L-profilů, U-profilů, trubky s konstantním i proměnným průřezem, drátů nebo třeba okenních několikakomorových profilů. Produkce probíhá na tzv. extrudérech, které se dají popsat jako vytlačovací stroje.

Vytlačovací stroj (obr. 2-1) se skládá z frémy (pevné části), ve které je uložený motor a převodovka na šnek. Pracovní šnek se otáčí v kovové komoře, na jejímž začátku se nachází násypka, do které se sype zpracováváný materiál. Na opačném konci je vytlačovací hlava. Každá část má vlastní ohřev a hmota v nich postupně homogenizuje a plastizuje. Za vytlačovací hlavou je temperovaný produkt chlazen vodní mlhou a dočištěn do přesné geometrie. Následuje další ochlazení ve vodní lázni, řezání do požadovaných délek a balení. Typicky žádanou vlastností extrudéru je co nejmenší zdržení granulátu uvnitř stroje, kvůli snížení teplotní degradace materiálu.



Obr. 2-1 Schéma vytlačovacího stroje (extrudéru) v řezu [10]

Tavenina je do vytlačovací hlavy dodávána tzv. pulzací, čímž je ovlivňována výsledná tloušťka a šířka desky. Tato nerovnoměrnost je částečně napravována zubovým čerpadlem, které taveninu vytlačí stabilně. Kontinualita přívodu taveniny je částečně zajištěna i širokoštěrbínovou hlavou, která zajišťuje i stejnou rychlost tečení po celé šířce desky [9].

2.3.2 Lisování

Lisování je technologie, která se pro zpracování termoplastů před svařováním využívá spíše okrajově, nejčastěji pro desky větších tloušťek. Vyšší uplatnění nachází v oblasti opracování reaktoplastů, kde je potřeba materiál vložený do lisovacího stroje ohřát na teplotu tvrzení. V případě termoplastových desek se jedná o teplotu blízkou teplotě měknutí. Procesní schéma je pro obě kategorie jednotné.

Lisovaný plast se ve formě granulátu, prášku nebo drti vloží do dutiny formy. Množství je třeba buď ručně odměřit, nebo použít systém pro automatické (např. sekací) dávkování. Při použití plastifikačních agregátů se doba lisovacího cyklu zkrátí až na třetinu. Hmota se dostává do plastického stavu stykem se zahřátými stěnami formy. Následuje stlačení horního dílu, čímž se vyplní celá dutina formy. Po ochlazení zaujme plast tvar formy a může být vyjmut z lisu. Lis je následně očištěn od zbytků a připraven pro další výrobu [10].

Touto metodou je možné modifikovat vlastnosti výsledného produktu podle toho, jak jsou na sobě naskládány jednotlivé vrstvy před lisováním. Pro zpevnění se využívají např. skelná nebo uhlíková vlákna. Velmi oblíbeným postupem je lisování recyklovaných PET lahví a tetrapak obalů. Lisování z nového materiálu příliš časté není.

Výhody:

- maximální využití původní hmoty při přesném dávkování,
- minimální vnitřní pnutí ve výliscích,
- hmota je namáhána jen malým tokem do všech směrů,
- poměrně levná metoda,

Nevýhody:

- cyklus lisování trvá dlouho,
- produktivita práce je na nízké úrovni,
- rozměry finálního výrobku jsou omezeny velikostí lisu,
- použití spíše u desek s větší tloušťkou.

2.4 Svařování

Pro spojení plastů se v praxi využívají svarové, mechanické nebo lepené spoje. Elastomery a reaktoplasty lze pouze mechanicky spojovat a lepit. Svařování se tedy týká zejména skupiny termoplastů, konkrétně těch, které splňují podmínky svařitelnosti. Naopak postupy lepení a mechanického spojování se dají aplikovat v omezené míře i u termoplastů. Mechanicky lze spojovat především rozdílné druhy termoplastů nebo různé druhy materiálů, např. přechod kovového trubního vedení na plastové [7].

2.4.1 Svařování termoplastů

Podstata svařování spočívá v přitlačení teplem změkklých ploch termoplastů k sobě, na základě čehož dojde k promíchání makromolekul obou ploch. Následuje pomalé ochlazování na původní stav, čímž vzniká spoj o značné pevnosti. Tento spoj již nelze rozebrat. Na rozdíl od kovových materiálů nedochází v tavenině k přeměně řetězců, tzn. chemickým změnám. Makromolekuly se pouze promísí a jejich vzájemné

přitažlivé síly jsou po ochlazení obnoveny. U termoplastů lze tedy hovořit o fyzikálním procesu.

Svařitelné jsou pouze termoplastové materiály stejné fyzikálně-chemické struktury. Svařitelnost jednotlivých hmot určuje hodnota indexu toku MFR (tokové chování), nedlouho před teplotním rozkladem má totiž hmota nejnižší viskozitu. Svařitelnost se dělí na zaručenou, kdy se spojují materiály stejného druhu i typu (např. PP-R a PP-R), a podmíněnou, kdy se může lišit typ materiálu (např. PP-H a PP-R). U podmíněčné je třeba ověřit svařitelnost u výrobce nebo provést zkoušky. Různé druhy materiálů prakticky svařovat není možné (např. PP a PE).

2.4.1.1 Základní parametry svařování

Při svařování termoplastů se sledují především tři základní parametry, výrazně ovlivňující následnou kvalitu spojů:

- teplota,
- tlak,
- čas.

Míra jednotlivých veličin závisí na druhu termoplastu, použité metodě svařování nebo tvaru výsledného produktu. Tyto hodnoty jsou pro většinu technologií předepsány. Kvalita provedených svarů kromě splnění předepsaných parametrů závisí na vlastnostech hmoty, postupu a podmínkách prostředí [10].

Velká teplotní roztažnost termoplastů zapříčiňuje vznik zbytkových pnutí z důvodu smrštění svaru po ochlazení. Kvůli jejich malé tepelné vodivosti je třeba materiál ohřívat pomalu a dlouho, abychom se vyhnuli poškození povrchů a zároveň dosáhli plastifikace svarů.

2.4.1.2 Podmínky svařování

Pro svařování především ve venkovních prostorách je třeba uvažovat s podmínkami jako teplota a vlhkost vzduchu, síla větru, množství srážek nebo intenzita působení slunce a následně se řídit tabulkou vlivů okolního prostředí. Velice důležitým požadavkem na provádění svarových spojů je čistota topných prvků, činných ploch

tepelných těles, nářadí, nástrojů a v neposlední řadě také svařovaných materiálů. Ulpění zbytků (např. z předchozího svařování) může zásadně ovlivnit vlastnosti výsledného produktu.

Při opravách svarových spojů je třeba provést zejména kontrolu povrchu, aby byly zjištěny vady vzniklé chybným skladováním, vlivem provozu nebo vlivem okolí. Poškozený materiál je nutné seškrábat, a pokud se hloubka porušení značná, doporučuje se provést další kontrola v řezu materiálu, fyzikálně-chemickým rozбором nebo ultrazvukem. Také je třeba splnit požadavky na použitá zařízení [16].

2.4.2 Metody svařování termoplastů

Pro zvolení správné metody svařování je třeba znát geometrii a tvar svařovaných polotovarů, požadovanou kvalitu provedení, finanční náročnost, typ materiálu a další faktory významně ovlivňující průběh svařování. U metod svařování lze teplo dodat těmito způsoby:

- vedením,
- prouděním,
- zářením.

Jedná se o tepelně reologický postup spojování a nezávisle na použité metodě se skládá ze tří fází. První fáze je ohřátí spojovaných polotovarů, druhou přitlačení k sobě (tečení taveniny) a poslední chladnutí taveniny pod tlakem. Pro jednotlivé typy polotovarů se používají různé metody (tab. 2-1).

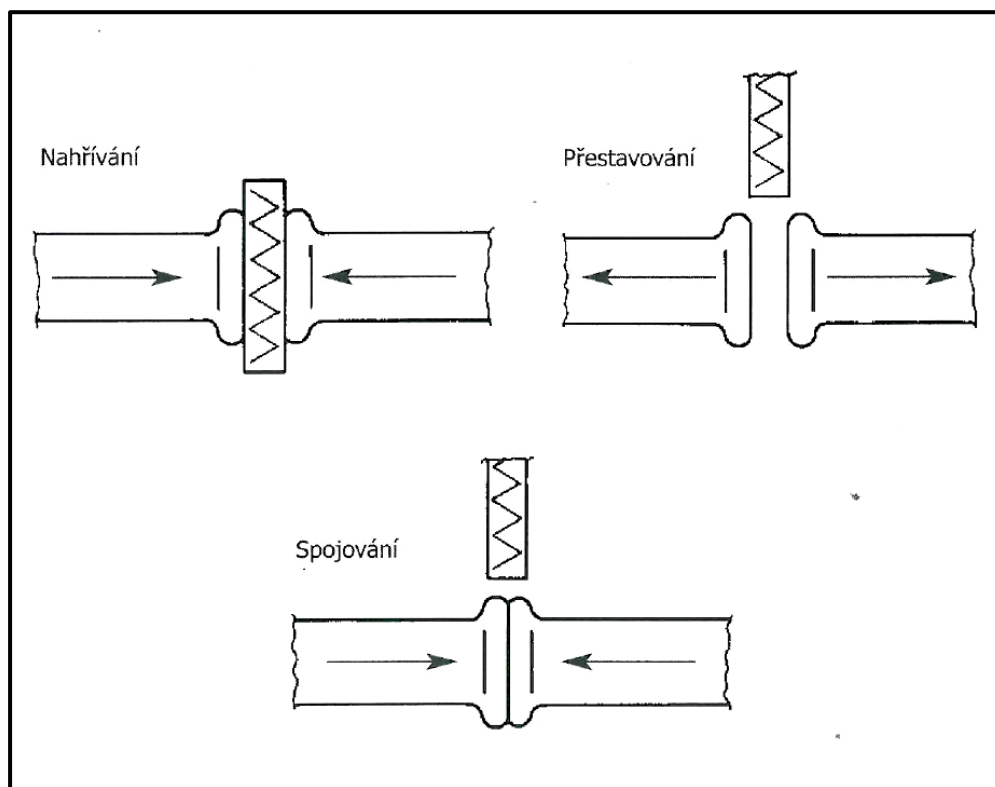
Podrobněji se budu věnovat pouze svařování desek, a to konkrétně svařováním na tupo horkým tělesem, svařováním extrudérem a svařováním horkým plynem a přídatným materiálem. Tyto metody se v praxi používají pro svařování desek ze všech uvedených nejčastěji [10].

Tab. 2-1 Metody svařování použitelné pro jednotlivé polotovary [1]

Metoda svařování	Desky	Trubky	Fólie
svařování na tupo horkým tělesem	X	X	
svařování extrudérem	X	X	X
svařování horkým plynem	X	X	X
sedlové svařování horkým tělesem		X	
polyfúzní svařování		X	
svařování elektrotvarovkou		X	
IR svařování		X	
bezvýronkové svařování		X	
profilové svařování horkým tělesem	X		
svařování horkým tělesem ohraňováním	X		
svařování horkým klínem			X
impulsní svařování horkým tělesem			X
vysokofrekvenční svařování HF			X
svařování horkým tělesem s oddělením svaru	X		X
svařování ultrazvukem	X		X
svařování třením		X	
svařování laserem	X		X
tepelně kontaktní svařování horkým tělesem	X	X	X
kotoučové svařování			X
svařování s implantáty	X	X	

2.4.2.1 Svařování na tupo horkým tělesem

Jedná se o značně rozšířenou metodu. Svařování na tupo (HS) se kromě desek používá i na profily a trubky. Čelní strana jedné spojované části se nahřeje na tzv. zrcadle a poté se tlakem připojí ke druhé části (obr. 2-2). U této technologie není potřeba přidávat v procesu žádný další materiál.



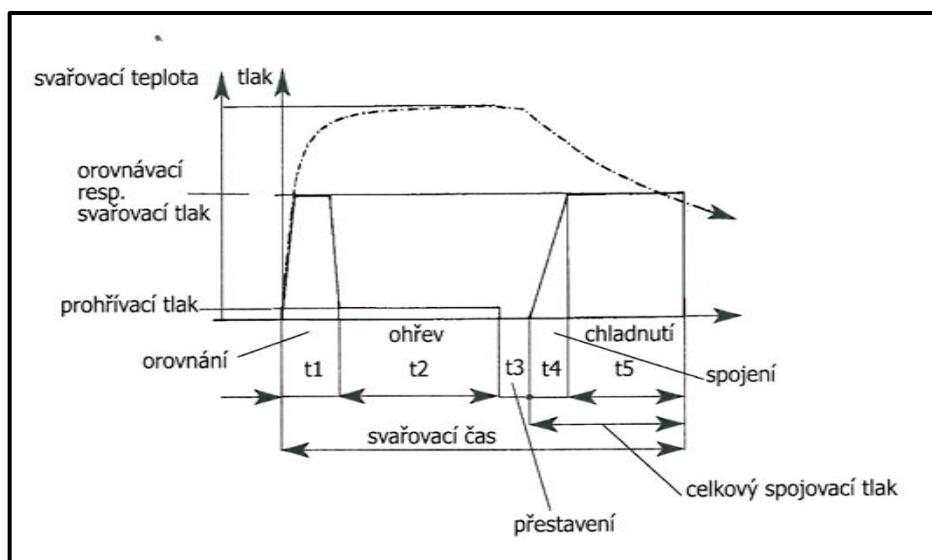
Obr. 2-2 Princip svařování na tupo horkým tělesem [10]

Pro tuto metodu se u desek zejména používají materiály jako polypropylén a polyetylén. Ideální jsou desky vyrobené vytlačováním nebo lisováním. Desky je třeba upnout a vytvářený svařovací tlak regulovat. Stroje pro tento typ svařování se dělí na:

- mechanické stroje s ručním přitlakem,
- pneumatické stroje s pneumatickým přitlakem čelistí,
- hydraulické stroje s pneumatickým přitlakem čelistí.

Mechanické stroje při svařování desek není příliš vhodné používat, protože nesplňují normové požadavky. Pneumatické a hydraulické stroje jsou poloautomatické s tuhým rámem, ve kterém jsou uloženy lože pro svařované desky. Hydraulické zařízení jsou nákladnější, nicméně vykazují přesnější hodnoty parametrů pro svařování [2].

Postup svařování vychází ze směrnice DVS 2207 [40]. Je rozdělený do několika fází. Příprava svařování zahrnuje především kontrolu pracoviště, nástrojů, zařízení, dodržení bezpečnostních pokynů podle normy a ověření svařitelnosti materiálů. Při přípravě materiálu se očistí spojované plochy, desky se upnou a zkontroluje se, že jsou tloušťky dílů stejné a přesazení ploch v toleranci. Následují fáze orovnění, ohřevu, přestavování spojení a chladnutí (obr. 2-3).



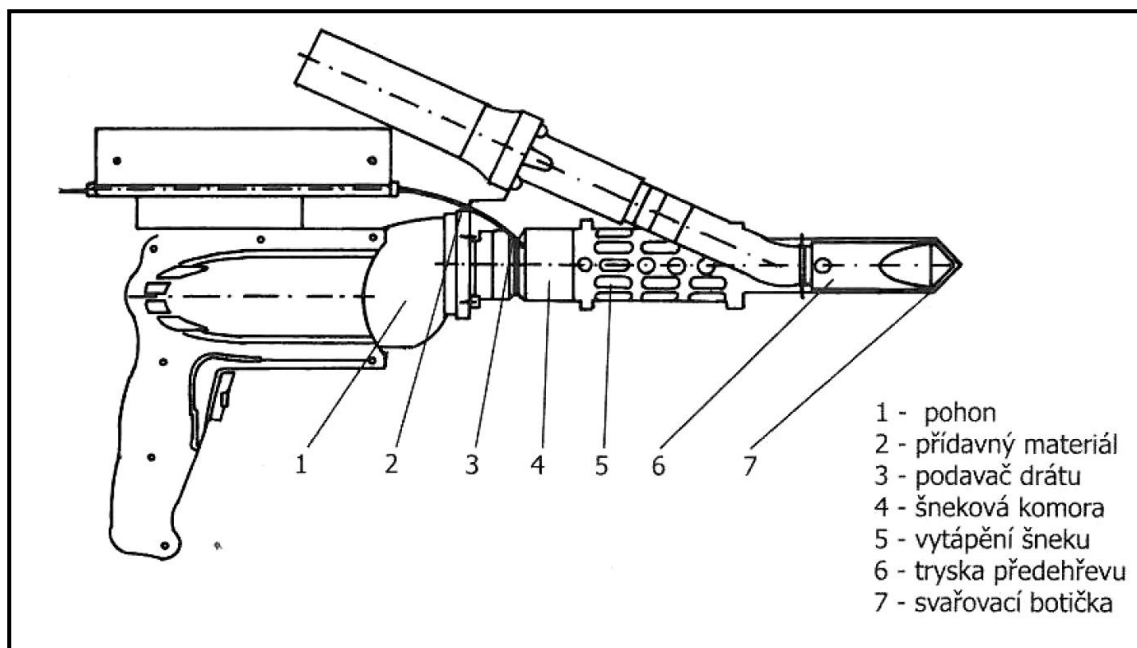
Obr. 2-3 Diagram tlaku, času a teploty [41]

Po dokončení ochlazení pod tlakem následuje ochlazování samovolné, které se již dále nepodporuje přidávnou studenou vodou ani vzduchem. Zarovnávání výronků je třeba provádět s velkou opatrností, aby nedošlo k poškození základního průřezu ani nového svaru.

2.4.2.2 Svařování extrudérem

Svařování extrudérem (WE) je metoda, u které je přídavný materiál vtlačován do svarové plochy přes tzv. svařovací botičku. Základní materiál je plastifikován předeřtím pomocí horkého plynu. Technologie se používá pro svařování desek, profilů, potrubí, izolačních a utěšňovacích pásů i fólií. Extrudér lze využít i pro navařování a opravy termoplastových dílců.

Extrudérem je možno svařovat zejména homogenní termoplasty jako polypropylén a polyetylén, omezeně i polyvinylchlorid a polyvinylidenfluorid. U materiálů a dílů, jejichž struktura je vylehčená organickými plnidly nebo sklem, je použití této metody obtížnější.



Obr. 2-4 Konstrukce ručního extrudéru [10]

Použití strojů pro tuto technologii se řídí normou ČSN EN 13 705 [28]. Tyto stroje jsou v dnešní době schopné nastavení regulace otáček, svařovacích parametrů a dalších předepsaných kritérií. Extrudér (obr. 2-4) se obecně skládá z plastifikační jednotky (šnekové, pístové nebo dotlačovací), která mění přídavný materiál na taveninu, předehřívací trysky, svařovací botičky. Svařovací botička se nachází na konci extrudéru za šnekovou komorou a je přímo v kontaktu s vytvářeným spojem. Tato botička je různá pro jednotlivé typy svarů. Volba extrudéru závisí na tloušťce a druhu materiálu, potřebném výkonu a předehřevu, tvaru přídavného materiálu, hmotnosti a rozměrech extrudéru a v neposlední řadě na jeho ceně [10].

Postupy svařování vycházejí z vyššího objemu vyplnění svarové plochy proti svařování horkým plynem. Tyto postupy se dělí na:

- diskontinuální (postupový),
- kontinuální (strojní):
 - šnekovým extrudérem,
 - extrudérem s oddělenou svařovací hlavou,
 - dotlačovacím extrudérem.

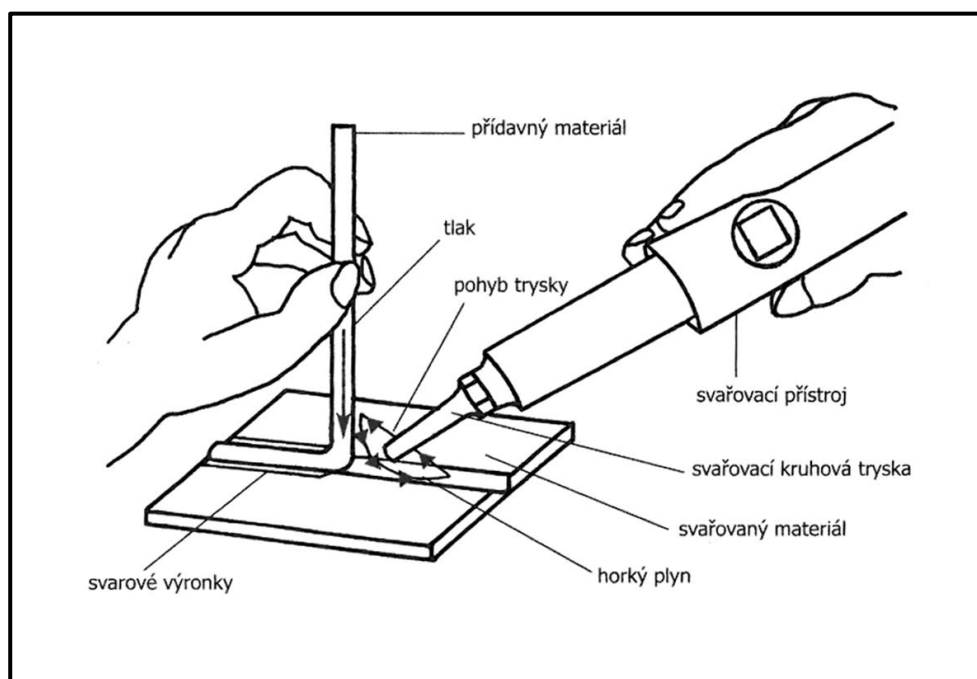
Tab. 2-2 Doporučené parametry pro svařování extrudérem [7]

Materiál	Teplota taveniny [°C]	Teplota předehřevu plynu [°C]	Množství plynu [l/min]
polypropylén	210-240	250-300	300
polyetylén	210-230	250-300	300

Před samotným svařováním je třeba zkontrolovat materiál a očištění ploch, dodržet přesné rozměry a požadavky na konstrukční řešení svarů dle normy, seřízení stroje a kompatibilitu přídavného a základního materiálu. Ta se kontroluje pomocí zkoušky přilnavosti. Mimo základní parametry (teplota, tlak a čas) je třeba dodržet také další kritéria předepsaná příslušnou normou, která jsou uvedena v tab. 2-2.

2.4.2.3 Svařování horkým plynem

Tato metoda se nejvíce blíží způsobům, které se využívají u svařování kovových materiálů, nicméně technologický postup je rozdílný. Svarové plochy a přídavný materiál se do plastického stavu dostávají ohřevem horkým plynem, plastické hmoty se poté spojují pomocí vyvíjeného tlaku na materiál. Základními parametry jsou i u této technologie rychlost svařování, velikost tlaku a teplota ohřevu.

**Obr. 2-5** Svařování horkým plynem ruční kruhovou tryskou (WF) [10]

Podle způsobu zapojení svářeče do procesu a typu používané trysky se svařování horkým plynem a přídavným materiálem dělí na:

- ruční s kruhovou tryskou (WF),
- s použitím rychlotrysky (WZ).

U varianty WF (obr. 2-5) je zatlačován přídavný plastifikovaný materiál svářečem přímo do základního plastifikovaného materiálu, u varianty WZ ho svářeč zatlačuje do trysky a ta vytváří dodatečný tlak [1].

Tab. 2-3 Svařovací parametry pro svařování kruhovou tryskou WF [8]

Materiál	Teplota horkého plynu ¹⁾ [°C]	Množství horkého plynu ²⁾ [l/min]	Rychlost svařování ³⁾ [mm/min]	Svařovací síla [N] podle ϕ drátu	
				ϕ 3 mm	ϕ 4 mm
polypropylén	300-340	45-55	250-350	15-20	25-30
polyetylén	300-340	45-55	250-350	15-20	25-30

Tab. 2-4 Svařovací parametry pro svařování rychlotryskou WZ [8]

Materiál	Teplota horkého plynu ¹⁾ [°C]	Množství horkého plynu ²⁾ [l/min]	Rychlost svařování ³⁾ [mm/min]	Svařovací síla [N] podle ϕ drátu	
				ϕ 3 mm	ϕ 4 mm
polypropylén	305-315	40-50	60-85	8-10	20-25
polyetylén	300-320	40-50	70-90	8-10	20-25

¹⁾ Měřeno 5 mm od ústí trysky

²⁾ Nasátý objem studeného vzduchu při okolním tlaku

³⁾ V závislosti na průměru přídavného materiálu a geometrii svaru

Těmito metodami lze svařovat téměř všechny termoplastové materiály, které je možné uvést do termoplastického stavu teplem. Nejčastěji se svařuje horkým plynem polypropylén, polyetylén a polyvinylchlorid.

Druhy přídavných hmot značně ovlivňují vlastnosti výsledného svaru, je tedy třeba při volbě jejich tvaru a materiálu dodržovat ustanovení z normy ČSN EN 12 943 [27]. Svařovací parametry jsou definovány ve směrnici DVS 2207 [40], přičemž uváděné hodnoty (tab. 2-3 a 2-4) jsou pouze doporučené a je třeba je otestovat na zkušebním tělese svářeného materiálu odtrhovací zkouškou.

3 Zkoušky svarových spojů

Zkoušek svarových spojů existuje velké množství a podle toho, jestli při zkoušce dojde k porušení svaru, se dělí na:

- nedestruktivní (NDT),
- destruktivní (DT).

3.1 Nedestruktivní zkoušky svarových spojů

Mezi nedestruktivní zkoušky svarových spojů se řadí takové, u kterých nedojde k porušení výrobku (konstrukce). Existuje několik základních zkoušek:

- vizuální kontrola (VT),
- zkouška rentgenem (RT),
- zkouška ultrazvukem (UT),
- kapilární zkouška (PT),
- zkouška na těsnost (LT).

Tyto zkoušky je možné zařadit do dvou kategorií podle toho, jestli se kontroluje pouze povrch svaru nebo vnitřek svaru. Do první kategorie lze zařadit např. VT a PT, do druhé např. RT a UT. V oblasti plastů se využívají nejčastěji vizuální kontrola a zkouška těsnosti. Ostatní metody nacházejí uplatnění spíše u jiných svařovaných materiálů, např. kovů.

Vizuální kontrola (VT) je zkouška, při které je třeba sledovat na zkušebním tělese trhliny, dodržení dimenzí svaru, vruby, degradovaný základní či přídavný materiál aj. Podle kvality provedení se zkušební tělesa svarových spojů zařazují do kvalitativních tříd dle normy ČSN EN 14728 [29].

Zkoušky na těsnost (LT) jsou asi nejčastější využívanou metodou pro nedestruktivní zkoušení svarů z termoplastů. Obvykle předchází tlakovým zkouškám. Řadí se mezi ně zkouška s vodní náplní za normálního tlaku, za přetlaku, zkouška se vzdušnou náplní za přetlaku, zkouška podtlakem (vakuum) a zkouška vysokým elektrickým napětím (tzv. jiskrová zkouška) [1].

3.2 Destruktivní zkoušky svarových spojů

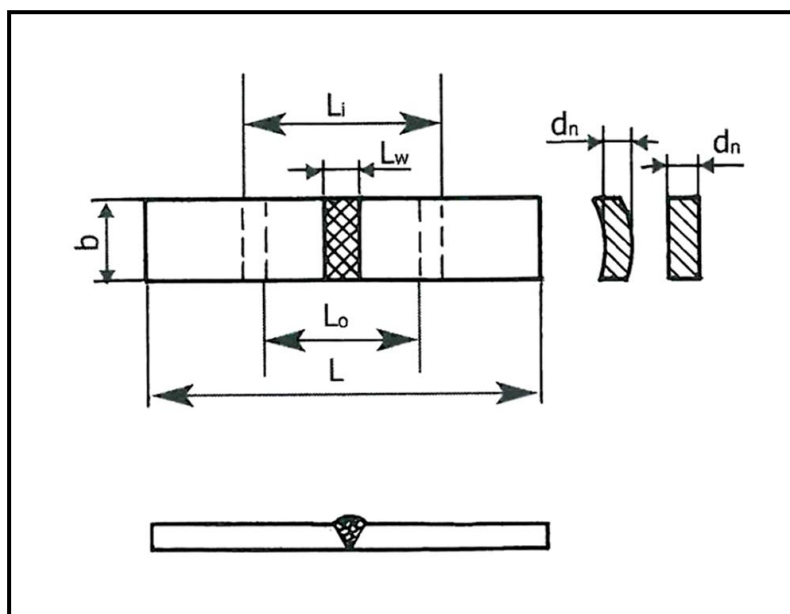
Destruktivní zkušební postupy (DT) termoplastových materiálů se řídí podle řady norem ČSN EN 12 814-1 až 8 [19 až 26]. Díly 1 až 7 popisují jednotlivé zkoušky zahrnující zkoušku ohybem [19], zkoušku tahem [20], zkouška dlouhodobého namáhání v tahu [21], zkouška odlupovací [22], makroskopická zkouška [23], zkouška tahem při nízkých teplotách [24] a zkouška v tahu na tělesech s vrubem [25]. Díl 8 [26] se zabývá požadavky na zkoušené svarové spoje z termoplastů.

3.2.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem dle ČSN EN 12 814-2 [20] poskytuje pouze výsledky okamžité pevnosti svarového spoje, pro vyhodnocení dlouhodobé pevnosti ani životnosti svaru být použita nesmí.

3.2.1.1 Princip zkoušky tahem

Zkoušený těleso (obr. 3-1) je ve směru osy natahován dvěma čelistmi neměnnou rychlostí až do porušení tělesa, nebo do okamžiku, kdy materiál začíná téci. Měří se přetvoření zkušebního tělesa, tedy změnu jeho délky v průběhu zkoušky. Zatížení, které působí na materiál, se v průběhu měření mění a je třeba ho zaznamenávat. U termoplastů není jednoduché určit minimální hodnoty protažení nebo namáhání jako u



Obr. 3-1 Zkušební těleso pro tahovou zkoušku obdélníkového tvaru (typ 1) [20]

kovových materiálů (z jejich složení), z toho důvodu se zavádí pojem svařovací faktor. Používají se obdélníková tělesa a tělesa s odlehčenou středovou částí (tzv. piškot). K druhé tvarové variantě zkušebního tělesa je nutné přistoupit, pokud dochází k porušení jinde než ve středové části. Pokud je svařovací faktor roven 1,0 a víc, vyzývá norma k použití tělesa s vrubem [20].

Zkouška se má provést na sadě minimálně 5 těles se svarem a sadě minimálně 5 těles bez svaru. Rychlost zatěžování pro polypropylén je stanovena na 20 mm/min, pro polyetylén 50 mm/min a pro polyvinylchlorid 10 mm/min.

3.2.1.2 Vyhodnocení zkoušky tahem

Zkouška trvá až do lomu tělesa nebo jeho největšího přetvoření. Pokud nedojde k přerušení ve střední části tělesa, ale v místě ovlivněném okrajovými podmínkami (nejčastěji u čelistí), je potřeba zkoušku opakovat, eventuálně přehodnotit typ zkušebního tělesa dle normy [20]. Pro vyhodnocení je nezbytné získat svařovací faktor, a to konkrétně z průměrných hodnot napětí těles se svary a těles bez svaru při porušení. Jeho požadované hodnoty udává ČSN EN 12 814-8 [26].

Tab. 3-1 Svařovací faktor pro polypropylén a polyetylén [26]

Metoda svařování	Svařovací faktor	Materiál	
		PP	PE
svařování na tupo horkým tělesem	krátkodobý	0,9	0,9
	dlouhodobý	0,8	0,8
svařování extrudérem	krátkodobý	0,8	0,8
	dlouhodobý	0,6	0,6
svařování horkým plynem	krátkodobý	0,8	0,8
	dlouhodobý	0,4	0,4

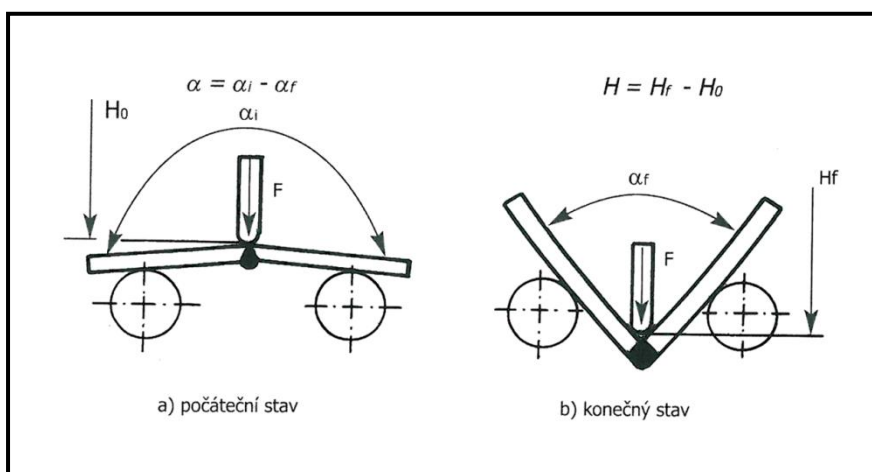
Svařované spoje jsou posuzovány mimo jiné pomocí tzv. svařovacího faktoru. Ten udává poměr meze kluzu f_y (napětí při přetržení) zkušebního tělesa se svarem a meze kluzu f_y srovnávacího tělesa bez svaru. Uvádí se krátkodobý a dlouhodobý svařovací faktor. Krátkodobý se využívá v případě, že díl není namáhán více než jednu

hodinu. Jestliže je tato doba při zatěžování překročena je třeba použít při dimenzování dlouhodobý svařovací faktor.

Konkrétní hodnoty obou variant vycházejí z použité metody svařování. Pro zkoušku tahem dle normy [20] předepisuje norma minimální hodnoty krátkodobého svařovacího faktoru (f_k) a dlouhodobého svařovacího faktoru (f_d) pro polypropylén a polyetylén (tab. 3.1).

3.2.2 Zkouška ohybem

Veškeré údaje o zkoušce ohybem lze nalézt v normě ČSN EN 12 814-1 [19]. Jedná se o jednu z nejdůležitějších zkoušek svarových spojů z termoplastů vzhledem k její velké vypovídající hodnotě. Uplatnění nachází u trubek svařovaných metodou HS a desek metodou WZ nebo WE.



Obr. 3-2 Schematické uspořádání technologické ohybové zkoušky a stanovení ohybového úhlu (α) a posunu příčnicku (H) [19]

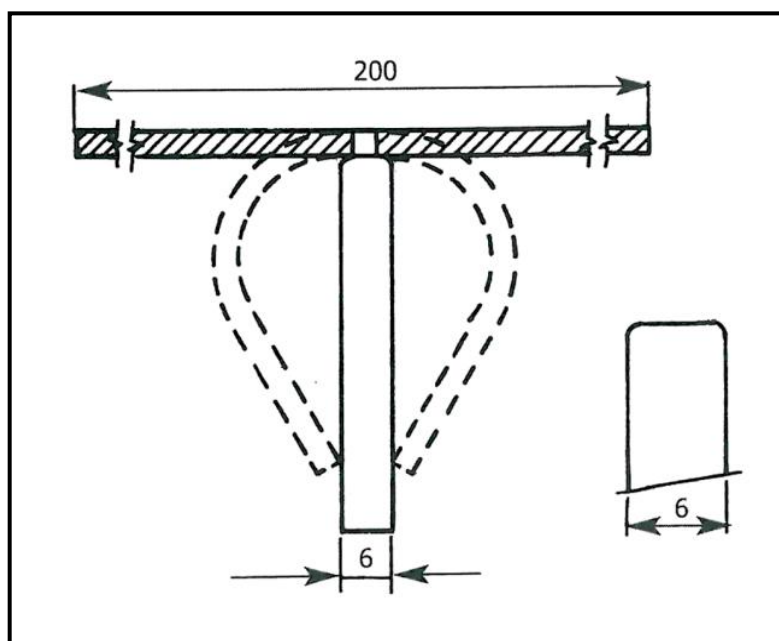
3.2.2.1 Princip zkoušky ohybem

Zkušební těleso se uloží na otáčivé podpory v předepsané vzdálenosti a ohýbání nastává silovým působením příčnicku uprostřed rozpětí (tříbodový ohyb). Vyhodnocení zkoušky se odvíjí od ohybového úhlu tělesa a posunu ohýbacího trnu (příčnicku). Norma [19] dělí zkoušku podle symetrie a tloušťky zkoušeného tělesa na:

- zkoušky pro symetrické svary (např. HS),
- zkoušky pro asymetrické svary (např. jednostranný V-svar):

- patní zkouška,
- čelní zkouška,
- boční zkouška.

Zkušební tělíska mají délku 150 – 380 mm, šířku 30 mm (s výjimkou boční zkoušky, kde se používá šířka 10 mm). Průměr příčnicku se volí podle tloušťky zkoušeného materiálu. Rychlost zatěžování je stanovena pro polypropylén na 20 mm/min, pro polyetylén na 50 mm/min a pro polyvinylchlorid na 10 mm/min [19].



Obr. 3-3 Schéma ruční ohybové zkoušky [19]

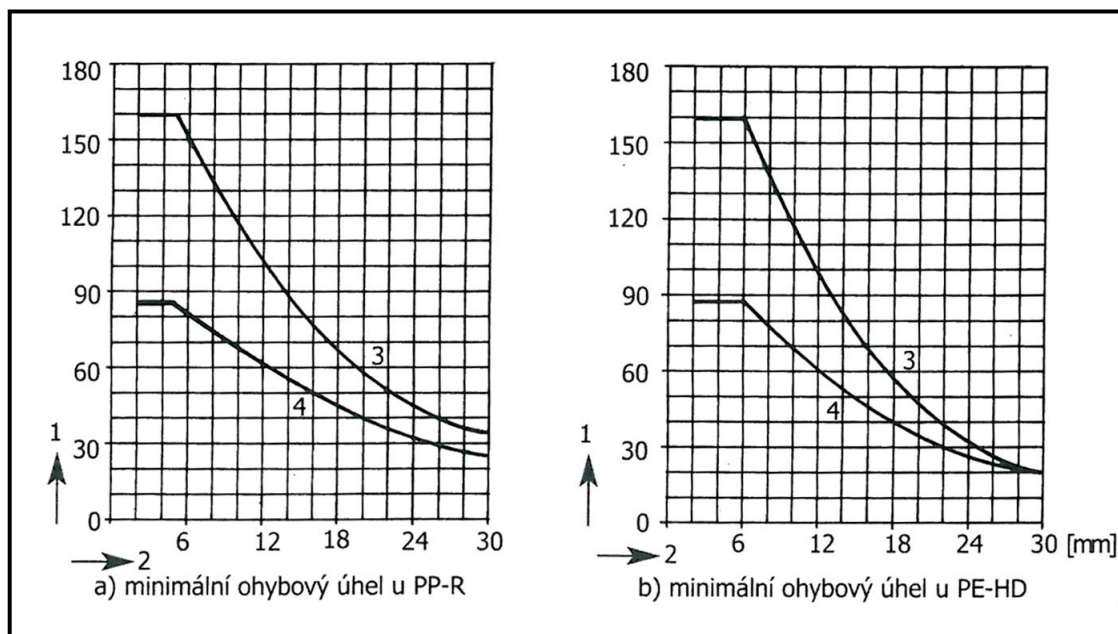
Pro orientační posouzení těles lze zkoušku dle normy provádět i ručně. Vzorek šířky 20 mm a délky 200 mm se ohýbá přes příčnicku tloušťky 6 mm se zaoblením a sleduje se přibližný úhel, kdy došlo k prasknutí. Pokud se vzorek ohne na obou stranách až k příčnicku, bere se úhel hodnoty 160° , což je považováno za ideální případ. Tato metoda se dá využít pouze u těles tloušťky do 10 mm.

3.2.2.2 Vyhodnocení zkoušky ohybem

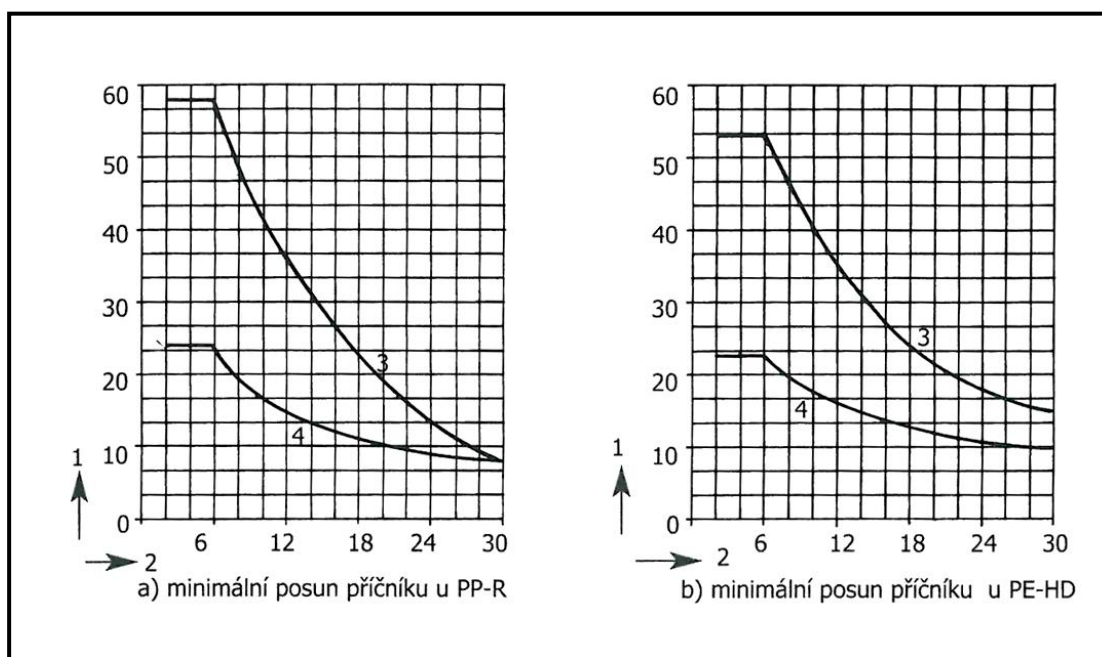
V okamžiku, kdy dojde k porušení nebo lomu zkoušeného tělesa, se sleduje ohybový úhel. Pro vyhodnocení je důležitá maximální hodnota úhlu při maximálním ohybovém momentu. Dle normy [19] je možné také odečítat posun ohýbacího trnu mezi začátkem zkoušky a okamžikem prasknutí nebo porušení tělesa. Tyto veličiny nejsou

recipročně analogické. ČSN EN 12 814-8 [26] určuje na základě tloušťky tělesa minimální hodnotu úhlu, které je třeba dosáhnout pro zajištění spolehlivosti zkoušky.

Pro zkoušku ohybem jsou v normě pro nejběžnější materiály z praxe předepsané minimální ohybové úhly (obr. 3-4) a minimální posuny příčnicku (obr. 3-5) závislé na tloušťce zkušebního tělesa. Křivka 3 se používá pro svar horkým tělesem na tupo (HS) a křivka 4 pro svar horkým plynem s přídavným materiálem (WZ) a extruderem (WE).



Obr. 3-4 Minimální ohybové úhly při zkoušce ohybem dle ČSN EN 12 814-1 [19]



Obr. 3-5 Minimální posuny příčnicku při zkoušce ohybem dle ČSN EN 12 814-1 [19]

4 Experimentální část

V této kapitole se budu věnovat experimentu, který jsem pro tuto práci vytvořil. Nejprve představím rozměry, tvary a materiály zkušebních těles, poté zařízení, která jsem pro zkoušení využil, a následně se budu věnovat jednotlivým zkouškám, konkrétně tahu a ohybu. Měření probíhalo na Fakultě stavební v Brně na Ústavu stavební mechaniky. V průběhu experimentu jsem sledoval chování a charakter deformace dílčích těles. Cílem experimentu bylo porovnat chování těles bez svaru a se svary. Další motivací bylo získat modul pružnosti E a mez kluzu f_y pro jednotlivé materiály jejich závislost na zvolených rychlostech zatěžování nebo tloušťky průřezu.

4.1 Zkušební tělesa

Zkouškám byly podrobeny dva materiály, polypropylén a polyetylén. Byly zvoleny tři různé rychlosti zatěžování pro zkoumání jejího vlivu na pevnost a tuhost materiálu.



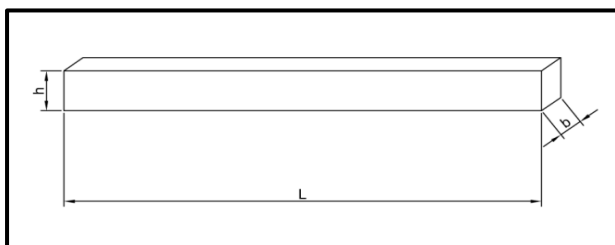
Obr. 4-1 Sada těles

Testovány byly tři varianty těles:

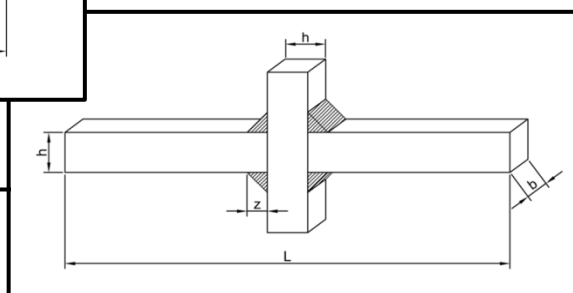
- typ A – zkušební tělesa bez svaru (obr. 4-2),
- typ B – zkušební tělesa s oboustrannými koutovými svary (obr. 4-3),
- typ C – zkušební tělesa s tupými svary (obr. 4-4).

Pro jednotlivé zkoušky (tah, ohyb) jsem měl sadu zkušebních těles o různých parametrech (tab. 4.1 až 4.4). Šest sad těles pro tahovou zkoušku:

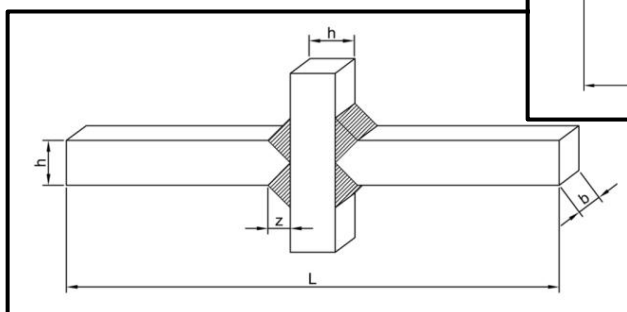
- typ A:
 - PP (zkušební tělesa č. 1-12),
 - PE (zkušební tělesa č. 37-45),
- typ B:
 - PP (zkušební tělesa č. 13-24),
 - PE (zkušební tělesa č. 46-57),
- typ C:
 - PP (zkušební tělesa č. 25-36),
 - PE (zkušební tělesa č. 58-69).



Obr. 4-2 Schéma tělesa (typ A)



Obr. 4-3 Schéma tělesa (typ B)



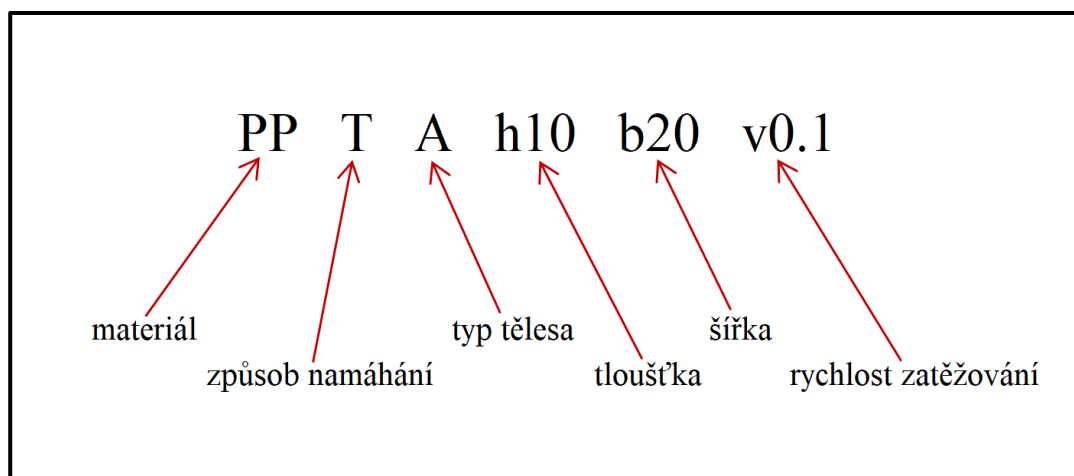
Obr. 4-4 Schéma tělesa (typ C)

Šest sad těles pro ohybovou zkoušku:

- typ A:
 - PP (zkušební tělesa č. 70-81),
 - PE (zkušební tělesa č. 106-114),
- typ B:
 - PP (zkušební tělesa č. 82-93),
 - PE (zkušební tělesa č. 115-126),

- typ C:
 - PP (zkušební tělesa č. 94-105),
 - PE (zkušební tělesa č. 127-138).

Každá tato sada obsahovala čtyři (v případě PE typu A pouze tři) různé tloušťky a pro každou tloušťku byla tři tělesa pro testování zvolených rozdílných zatěžovacích rychlostí. Pro tělesa jsem vytvořil označení, které jasně definovalo jeho základní parametry (obr. 4-5).



Obr. 4-5 Označování těles

Jednalo se o zkušební tělesa délek L od 249,5 do 265 mm, plochy průřezu A od cca 159 do 616 mm². Šířka průřezu b byla 20 nebo 25 mm, tloušťka průřezu h byla 10, 15, 20 nebo 25 mm. Pro tahové namáhání bylo tedy k dispozici 36 zkušebních těles polypropylénu a 33 zkušebních těles polyetylénu. Pro ohybové namáhání bylo rovněž k dispozici 36 zkušebních těles polypropylénu a 33 zkušebních těles polyetylénu. Také jsem disponoval několika tělesy navíc pro počáteční omyly v měření a testování způsobu podepření.

U všech zkušebních těles jsem důkladně změřil všechny rozměry na několika místech a geometrii ještě před vlastním zkoušením (tab. 4.1 až 4.4). Vzhledem k tomu, že jsem měl pro testování k dispozici i program Aramis, bylo rovněž třeba každý jednotlivý vzorek opatřit nástříkem. Pro polypropylén byla použita barva nástříku černá a pro polyetylén bílá.

Tab. 4-1 Rozměry polypropylénových těles pro tahovou zkoušku

	Označení zkušebního tělesa	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Délka L [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Rozměr svaru z [mm]	Plocha průřezu A [mm ²]
1	PP T A h10 b20 v0.1	0,1	251	20,53	9,62	-	197,42
2	PP T A h10 b20 v1.0	1	251	20,44	9,67	-	197,65
3	PP T A h10 b20 v10.0	10	251	19,71	9,65	-	190,12
4	PP T A h15 b20 v0.1	0,1	251	20,41	14,66	-	299,19
5	PP T A h15 b20 v1.0	1	251	19,94	14,61	-	291,32
6	PP T A h15 b20 v10.0	10	251	20,02	14,66	-	293,47
7	PP T A h20 b20 v0.1	0,1	251	19,73	19,47	-	384,14
8	PP T A h20 b20 v1.0	1	251	19,83	19,47	-	385,93
9	PP T A h20 b20 v10.0	10	251	19,96	19,46	-	388,46
10	PP T A h25 b20 v0.1	0,1	251	20,02	24,83	-	497,02
11	PP T A h25 b20 v1.0	1	251	19,66	24,81	-	487,84
12	PP T A h25 b20 v10.0	10	251	20,35	24,82	-	504,91
13	PP T B h10 b20 v0.1	0,1	251,5	20,54	9,69	6,97	198,88
14	PP T B h10 b20 v1.0	1	251,5	20,42	9,71	6,93	198,20
15	PP T B h10 b20 v10.0	10	251,5	19,71	9,69	7,04	191,01
16	PP T B h15 b20 v0.1	0,1	255	20,42	14,69	10,46	299,92
17	PP T B h15 b20 v1.0	1	255	19,94	14,63	10,54	291,67
18	PP T B h15 b20 v10.0	10	255	20,02	14,68	10,50	293,88
19	PP T B h20 b20 v0.1	0,1	260	19,73	19,49	13,99	384,59
20	PP T B h20 b20 v1.0	1	260	19,82	19,51	14,07	386,64
21	PP T B h20 b20 v10.0	10	260	19,96	19,45	13,90	388,27
22	PP T B h25 b25 v0.1	0,1	265	24,80	24,80	21,05	615,04
23	PP T B h25 b25 v1.0	1	265	24,77	24,77	20,91	613,31
24	PP T B h25 b25 v10.0	10	265	24,80	24,80	20,96	615,16
25	PP T C h10 b20 v0.1	0,1	249,5	20,51	9,74	6,93	199,79
26	PP T C h10 b20 v1.0	1	249,5	20,20	9,76	6,89	197,20
27	PP T C h10 b20 v10.0	10	249,5	19,73	9,75	7,00	192,32
28	PP T C h15 b20 v0.1	0,1	254	20,43	14,69	10,42	300,10
29	PP T C h15 b20 v1.0	1	254	19,98	14,65	10,50	292,53
30	PP T C h15 b20 v10.0	10	254	19,98	14,69	10,46	293,41
31	PP T C h20 b20 v0.1	0,1	259	19,75	19,43	13,95	383,65
32	PP T C h20 b20 v1.0	1	259	19,82	19,49	14,03	386,29
33	PP T C h20 b20 v10.0	10	259	19,95	19,46	13,86	388,33
34	PP T C h25 b25 v0.1	0,1	264	24,77	24,80	21,01	614,30
35	PP T C h25 b25 v1.0	1	264	24,72	24,78	20,87	612,62
36	PP T C h25 b25 v10.0	10	264	24,73	24,75	20,92	612,07

Tab. 4-2 Rozměry polyetylénových těles pro tahovou zkoušku

	Označení tělesa	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Délka L [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Rozměr svaru z [mm]	Plocha průřezu A [mm ²]
37	PE T A h10 b20 v0.1	0,1	251	19,53	9,66	-	159,61
38	PE T A h10 b20 v1.0	1	251	20,07	9,66	-	164,93
39	PE T A h10 b20 v10.0	10	251	20,10	9,66	-	165,22
40	PE T A h15 b20 v0.1	0,1	251	20,35	14,75	-	255,91
41	PE T A h15 b20 v1.0	1	251	19,80	14,76	-	247,87
42	PE T A h15 b20 v10.0	10	251	19,54	14,67	-	242,65
43	PE T A h20 b20 v0.1	0,1	251	19,97	19,75	-	335,09
44	PE T A h20 b20 v1.0	1	251	19,74	19,76	-	330,79
45	PE T A h20 b20 v10.0	10	251	19,16	19,73	-	318,82
46	PE T B h10 b20 v0.1	0,1	251,5	19,53	9,72	6,96	189,86
47	PE T B h10 b20 v1.0	1	251,5	20,08	9,73	6,92	195,38
48	PE T B h10 b20 v10.0	10	251,5	20,10	9,72	7,03	195,30
49	PE T B h15 b20 v0.1	0,1	255	20,36	14,76	10,45	300,48
50	PE T B h15 b20 v1.0	1	255	19,81	14,76	10,53	292,40
51	PE T B h15 b20 v10.0	10	255	19,49	14,70	10,49	286,51
52	PE T B h20 b20 v0.1	0,1	260	19,97	19,80	13,98	395,31
53	PE T B h20 b20 v1.0	1	260	19,75	19,77	14,06	390,26
54	PE T B h20 b20 v10.0	10	260	19,17	19,76	13,89	378,70
55	PE T B h25 b25 v0.1	0,1	265	24,80	24,86	21,04	616,47
56	PE T B h25 b25 v1.0	1	265	24,77	24,79	20,90	613,92
57	PE T B h25 b25 v10.0	10	265	24,77	24,82	20,95	614,79
58	PE T C h10 b20 v0.1	0,1	249,5	19,53	9,72	6,92	189,81
59	PE T C h10 b20 v1.0	1	249,5	20,05	9,76	6,88	195,56
60	PE T C h10 b20 v10.0	10	249,5	20,07	9,74	6,99	195,38
61	PE T C h15 b20 v0.1	0,1	254	20,39	14,75	10,41	300,79
62	PE T C h15 b20 v1.0	1	254	19,80	14,76	10,49	292,11
63	PE T C h15 b20 v10.0	10	254	19,51	14,70	10,45	286,71
64	PE T C h20 b20 v0.1	0,1	259	19,92	19,76	13,94	393,57
65	PE T C h20 b20 v1.0	1	259	19,67	19,82	14,02	389,66
66	PE T C h20 b20 v10.0	10	259	19,01	19,80	13,85	376,35
67	PE T C h25 b25 v0.1	0,1	264	24,73	24,80	21,00	613,37
68	PE T C h25 b25 v1.0	1	264	24,67	24,79	20,86	611,57
69	PE T C h25 b25 v10.0	10	264	24,69	24,86	20,86	613,61

Tab. 4-3 Rozměry polypropylénových těles pro ohybovou zkoušku

	Označení tělesa	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Délka L [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Rozměr svaru z [mm]	Plocha průřezu A [mm ²]
70	PP O A h10 b20 v0.1	0,1	251	20,52	9,66	-	198,14
71	PP O A h10 b20 v1.0	1	251	20,39	9,70	-	197,88
72	PP O A h10 b20 v10.0	10	251	19,71	9,69	-	190,97
73	PP O A h15 b20 v0.1	0,1	251	20,41	14,68	-	299,72
74	PP O A h15 b20 v1.0	1	251	19,96	14,63	-	291,88
75	PP O A h15 b20 v10.0	10	251	20,01	14,68	-	293,77
76	PP O A h20 b20 v0.1	0,1	251	19,73	19,49	-	384,54
77	PP O A h20 b20 v1.0	1	251	19,82	19,49	-	386,41
78	PP O A h20 b20 v10.0	10	251	19,96	19,47	-	388,46
79	PP O A h25 b20 v0.1	0,1	251	20,02	24,80	-	496,49
80	PP O A h25 b20 v1.0	1	251	19,66	24,78	-	487,16
81	PP O A h25 b20 v10.0	10	251	20,35	24,78	-	504,17
82	PP O B h10 b20 v0.1	0,1	251,5	20,51	9,68	6,98	198,46
83	PP O B h10 b20 v1.0	1	251,5	20,20	9,70	6,94	195,84
84	PP O B h10 b20 v10.0	10	251,5	19,73	9,69	7,05	191,18
85	PP O B h15 b20 v0.1	0,1	255	20,43	14,70	10,47	300,41
86	PP O B h15 b20 v1.0	1	255	19,98	14,63	10,55	292,23
87	PP O B h15 b20 v10.0	10	255	19,98	14,70	10,51	293,71
88	PP O B h20 b20 v0.1	0,1	260	19,75	19,55	14,00	386,01
89	PP O B h20 b20 v1.0	1	260	19,82	19,55	14,08	387,48
90	PP O B h20 b20 v10.0	10	260	19,95	19,42	13,91	387,38
91	PP O B h25 b25 v0.1	0,1	265	24,80	24,81	21,06	615,16
92	PP O B h25 b25 v1.0	1	265	24,76	24,78	20,92	613,55
93	PP O B h25 b25 v10.0	10	265	24,80	24,80	20,97	615,10
94	PP O C h10 b20 v0.1	0,1	249,5	20,51	9,75	6,94	199,98
95	PP O C h10 b20 v1.0	1	249,5	20,14	9,76	6,90	196,57
96	PP O C h10 b20 v10.0	10	249,5	19,73	9,75	7,01	192,44
97	PP O C h15 b20 v0.1	0,1	254	20,44	14,70	10,43	300,40
98	PP O C h15 b20 v1.0	1	254	20,00	14,65	10,51	292,98
99	PP O C h15 b20 v10.0	10	254	19,98	14,69	10,47	293,52
100	PP O C h20 b20 v0.1	0,1	259	19,75	19,45	13,96	384,14
101	PP O C h20 b20 v1.0	1	259	19,82	19,50	14,04	386,44
102	PP O C h20 b20 v10.0	10	259	19,95	19,45	13,87	387,98
103	PP O C h25 b25 v0.1	0,1	264	24,74	24,81	21,02	613,68
104	PP O C h25 b25 v1.0	1	264	24,68	24,79	20,88	611,88
105	PP O C h25 b25 v10.0	10	264	24,68	24,75	20,93	610,89

Tab. 4-4 Rozměry polyetylénových těles pro ohybovou zkoušku

	Označení zkušebního tělesa	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Délka L [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Rozměr svaru z [mm]	Plocha průřezu A [mm ²]
106	PE O A h10 b20 v0.1	0,1	251	19,53	9,64	-	188,33
107	PE O A h10 b20 v1.0	1	251	20,06	9,64	-	193,42
108	PE O A h10 b20 v10.0	10	251	20,09	9,65	-	193,75
109	PE O A h15 b20 v0.1	0,1	251	20,38	14,75	-	300,62
110	PE O A h15 b20 v1.0	1	251	19,75	14,75	-	291,33
111	PE O A h15 b20 v10.0	10	251	19,56	14,67	-	286,89
112	PE O A h20 b20 v0.1	0,1	251	19,97	19,74	-	394,29
113	PE O A h20 b20 v1.0	1	251	19,72	19,75	-	389,59
114	PE O A h20 b20 v10.0	10	251	19,10	19,74	-	376,92
115	PE O B h10 b20 v0.1	0,1	251,5	19,54	9,68	6,97	189,00
116	PE O B h10 b20 v1.0	1	251,5	20,08	9,69	6,93	194,60
117	PE O B h10 b20 v10.0	10	251,5	20,09	9,69	7,04	194,70
118	PE O B h15 b20 v0.1	0,1	255	20,36	14,75	10,46	300,29
119	PE O B h15 b20 v1.0	1	255	19,86	14,77	10,54	293,27
120	PE O B h15 b20 v10.0	10	255	19,45	14,68	10,50	285,57
121	PE O B h20 b20 v0.1	0,1	260	19,95	19,75	13,99	393,96
122	PE O B h20 b20 v1.0	1	260	19,74	19,76	14,07	390,11
123	PE O B h20 b20 v10.0	10	260	19,16	19,73	13,90	378,08
124	PE O B h25 b25 v0.1	0,1	265	24,77	24,83	21,05	615,10
125	PE O B h25 b25 v1.0	1	265	24,73	24,81	20,91	613,37
126	PE O B h25 b25 v10.0	10	265	24,73	24,82	20,96	613,67
127	PE O C h10 b20 v0.1	0,1	249,5	19,53	9,74	6,93	190,15
128	PE O C h10 b20 v1.0	1	249,5	20,07	9,78	6,89	196,24
129	PE O C h10 b20 v10.0	10	249,5	20,08	9,76	7,00	195,98
130	PE O C h15 b20 v0.1	0,1	254	20,39	14,75	10,42	300,61
131	PE O C h15 b20 v1.0	1	254	19,81	14,77	10,50	292,46
132	PE O C h15 b20 v10.0	10	254	19,47	14,70	10,46	286,25
133	PE O C h20 b20 v0.1	0,1	259	19,95	19,76	13,95	394,16
134	PE O C h20 b20 v1.0	1	259	19,72	19,82	14,03	390,85
135	PE O C h20 b20 v10.0	10	259	19,09	19,79	13,86	377,84
136	PE O C h25 b25 v0.1	0,1	264	24,77	24,81	21,01	614,36
137	PE O C h25 b25 v1.0	1	264	24,72	24,79	20,87	612,93
138	PE O C h25 b25 v10.0	10	264	24,73	24,86	20,87	614,66

4.2 Testovací zařízení pro zkoušení těles

Zkušební tělesa byla zkoušena pomocí dvou nezávislých měřících zařízení. Jednalo se o stroj pro statické zkoušení pro statické zkoušení (obr. 4.6) a optickým měřícím systémem (obr. 4.7). Měření probíhalo na Fakultě stavební VUT v Brně na Ústavu stavební mechaniky za pomoci Ing. Václava Sadílka, Ph.D.

4.2.1 Stroj pro statické zkoušení

Měl jsem k dispozici přístroj pro testování materiálů a kontrolu kvality AllroundLine od německé firmy Zwick Roell. Zařízení je schopné pomocí posunu příčnicku vzhůru i dolů namáhat zkoušená tělesa v tahu, tlaku i ohybu. Je dostupné pro rychlosti zkoušení 0,0001 až 600 mm/min, které nejsou závislé na síle. Výška zkušebního prostoru přesahuje 1 m, pro mé účely bylo tedy více než dostačující. Pro zatěžování byla použita hlava pro zatížení do 20 kN, což je největší hlava, kterou laboratoř pro tento stroj disponuje. Upínací čelisti jsou výměnné v závislosti na tvaru a velikosti zkoušených těles a potřebné přitlačné síle. Ta byla stanovena na 3 až 5 barů.

Zařízení je ovládáno standardním počítačem bez speciální hardwarové nástavby, v případě laboratoře na stavební fakultě se jednalo o systém Windows XP. Sílu zaznamenávají patentované snímače Xforce, přes které jsou hodnoty zaznamenávány v softwarovém prostředí Zwick. Přesnost vedení příčnicku zajišťuje snížení nežádoucích mechanických vlivů na minimum. Pro zkvalitnění výsledků byla připojena také hlava extenzometru, měřící posun čelistí nezávisle na elektronice přístroje.

Výstupem programu Zwick byly dva soubory s koncovkou .tra a .tr2. Soubor s koncovkou .tr2 obsahoval veškerá naměřená data až do ukončení měření včetně počáteční síly ze stlačení čelistí. Soubor s koncovkou .tra pak zahrnoval data, která program vygeneroval na základě interně nastavených podmínek přístroje. Jednalo se především o ořezání hodnot před vynulováním síly na počátku a po velkém výkyvu síly v průběhu měření. V několika případech tedy bylo výsledná data (.tra) doplnit z kompletního souboru (.tr2) pro získání všech relevantních údajů.

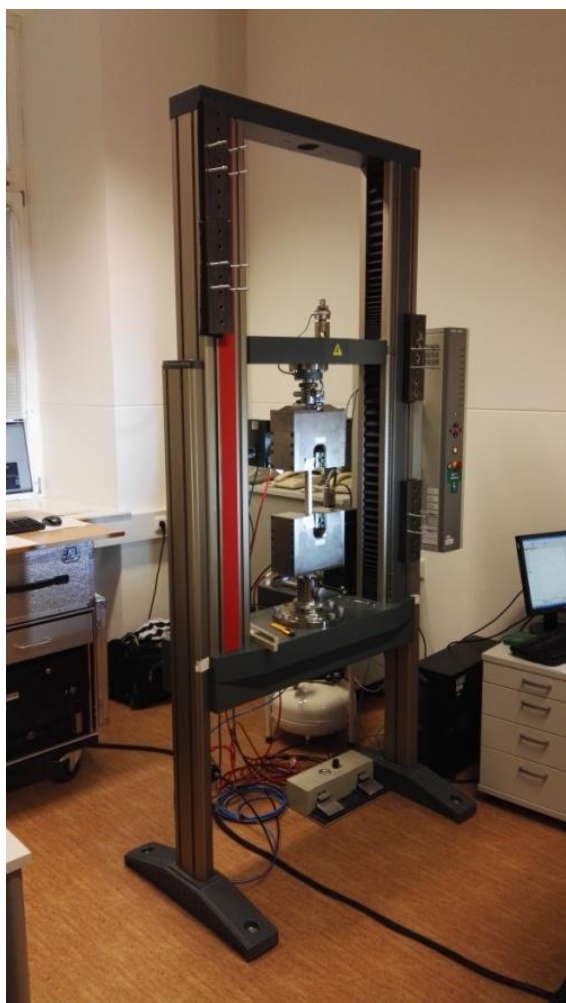
Na základě těchto dat pak bylo možné sestavit pro jednotlivá zkušební tělesa grafy závislosti síly na čase a síly na posunu. Také jsem získal hodnotu maximální síly

F_{\max} a dobu t_{\max} k jejímu dosažení (popř. posun u při F_{\max}) pro jednotlivé rychlosti zatěžování.

4.2.2 Optický měřicí systém

Pro tento systém byl k dispozici přístroj od firmy GOM, který zaznamenával pořízené snímky do programu Aramis. Systém funguje tak, že zobrazuje deformaci na základě pohybu nastříkaných bodů na tělese, které mezi jednotlivými snímky mění při namáhání svou polohu.

Před zařízení byl postaven stativ se dvěma kamerami a dvěma svítlidly. Ty byly napojeny na další počítač. Kamery bylo třeba kalibrovat a nastavit na požadovanou oblast měření. Nástřik těles bylo nejdříve nutné otestovat a případně opravit, abychom dosáhli co nejlepších výsledků.



Obr. 4-6 Stroj pro statické zkoušky



Obr. 4-7 Stativ s kamerami pro snímání těles

Při měření zaznamenával program Aramis počet snímků podle nastavené frekvence výstupů (nejvíce 15 snímků za vteřinu), ze kterých bylo možné později analyzovat průběh deformace jednotlivých těles.

Po skončení jednotlivých měření je třeba vytvořit tzv. masku, která softwaru slouží pro vybrání oblasti, ve které má provádět výpočty. Tyto výpočty deformací v jednotlivých bodech zkušebního tělesa jsou přepočítána z pohybu nastříkaných teček na tělese v průběhu zatěžování silou.

Výsledky analýz z programu Aramis posloužily především k popsání místa porušení a oblastí s většími deformacemi. U některých těles bylo testování ukončeno náhlým porušením tělesa v konkrétním místě, u jiných bylo ukončeno pracovníkem, především pokud došlo k tečení materiálu a další měření již pro experiment nemělo význam.

4.3 Zkouška tahem

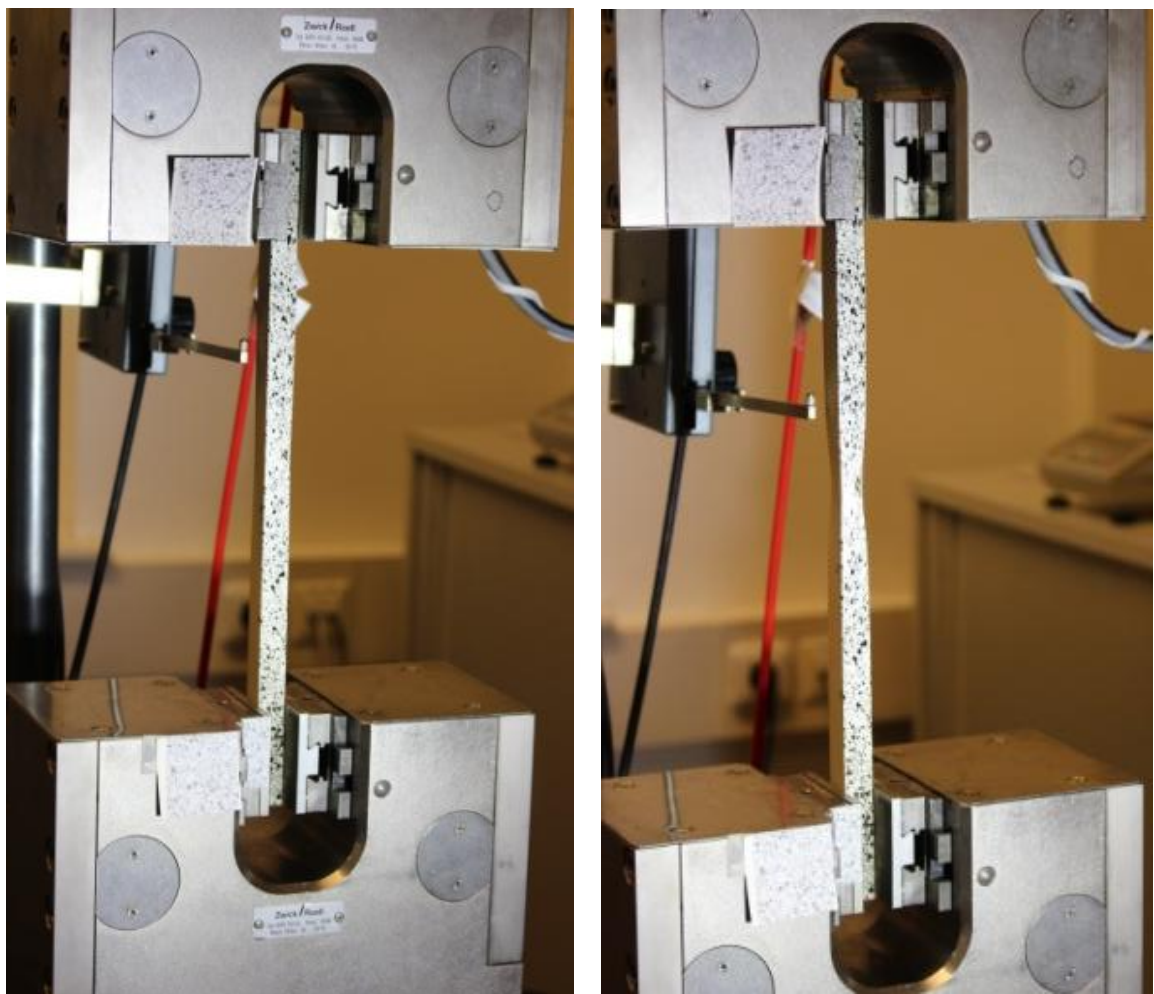
Při testování zkušebních těles tahovou silou v ose byly do zatěžovací hlavy kloubově uchyceny čelisti (spodní pevná, horní posuvná). Rozpětí čelistí bylo stanoveno přesně na 150 mm, jednotlivá zkušební tělesa byla tedy uchyceny na obou koncích.

Poté, co bylo uchyceno zkušební těleso, bylo třeba vynulovat počáteční sílu vzniklou přitlačením čelistí a nepřesnostmi zkušebních těles z výroby. Pro start zatěžování bylo třeba synchronizovat začátek snímání programu Aramis kamerami a měření programu Zwick z přístroje, což bylo provedeno odpočítáním přímo při měření, následně přesně doladěno ve vyhodnocení výsledků podle časů obou záznamů. Měl jsem připravené tři totožná tělesa pro zatěžování různými rychlostmi. Pro experiment byly zvoleny rychlosti 0,1 mm/s, 1,0 mm/s a 10,0 mm/s.

Začal jsem od zkušebních těles bez svarů s nejmenší plochou průřezu a postupoval až ke zkušebním tělesům bez svarů s největší plochou průřezu. Z těchto (svarem nepřerušovaných) těles bylo možné určit Youngův modul pružnosti E a mez kluzu v tahu f_y materiálu. U polyetylenových těles nastal problém v příliš velkém ovlivnění měření okrajovými podmínkami. Projevovalo se to především tak, že porušení nastávalo téměř bezvýhradně u podepření a proto bylo testováno několik různých

uchycení čelistmi. Zkoušel jsem různé přitlačné síly nebo vložit nějaký materiál mezi čelist a vzorek. U žádné metodiky však k odstranění problému nedošlo. Rozhodl jsem se tedy navrtat zkušební tělesa bez svaru uprostřed délky a šířky tělesa kruhovým vrtákem o průměru 3 mm skrz na skrz pro získání co hodnot modulů pružnosti E a meze kluzu f_y základního materiálu. Poté byly namáhány tělesa s oboustrannými koutovými svary a nakonec tělesa s tupými svary.

Pro veškeré údaje jednotlivých zkušebních těles ze zkoušení tahem lze nahlédnout do přílohové části této práce (zkušební tělesa č. 1-69), kde jsou seřazeny podle tabulek 4-5 (polypropylén) a 4-6 (polyetylén). Lze zde nalézt údaje jako označení zkušebního tělesa, typ svaru, rozměry a schéma tělesa, rychlost zatěžování, maximální síla, čas a posun při dosažení maximální síly, fotografie způsobu porušení a diagram závislosti síly F a posunu u .



Obr. 4-8 Vzorek (PP T A h15 b20 v0.1) před a v průběhu namáhání tahovou silou

4.3.1 Výsledky ze zkoušky tahem

Ze zkoušky tahem jsem získal hodnoty sil v závislosti na posunu příčnicku. Z těchto hodnot bylo možné odečíst maximální sílu F_{\max} , kterou bylo zkušební těleso schopno přenést, dobu od začátku zatěžování, po které byla tato síla vyvozena a posun příčnicku v tomto okamžiku. Modul pružnosti v tahu E jednotlivých zkušebních těles jsem získal z grafů závislosti síly na posunu příčnicku, přesněji z jejich počáteční lineární části. Tato oblast je v normě definována jako 0,05 – 0,25 % deformace. Maximální napětí σ_{\max} jsem vypočítal pomocí maximální síly F_{\max} a plochy průřezu A . Vznikla tak přehledná tabulka sdružující všechny tyto hodnoty přehledně vedle sebe pro porovnání jednotlivých těles zvlášť pro polypropylén (tab. 4-5) a zvlášť pro polyetylén (tab. 4-6).

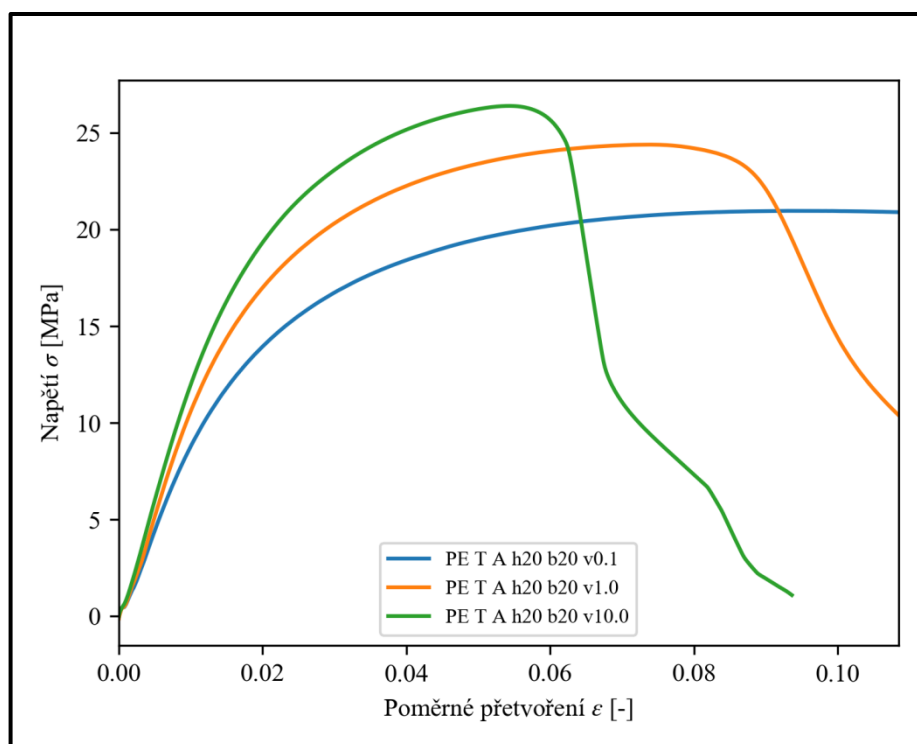
Tab. 4-5 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky pro polypropylén

	Označení zkušebního tělesa	Plocha průřezu A [mm ²]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]	Napětí při F_{\max} σ_{\max} [MPa]	Modul pružnosti E [MPa]
1	PP T A h10 b20 v0.1	197,42	6,384	10,689	32,338	1609,546
2	PP T A h10 b20 v1.0	197,65	6,740	9,712	34,101	1777,916
3	PP T A h10 b20 v10.0	190,12	6,985	9,282	36,741	1849,525
4	PP T A h15 b20 v0.1	299,19	9,493	11,507	31,727	1362,518
5	PP T A h15 b20 v1.0	291,32	9,899	10,540	33,980	1551,462
6	PP T A h15 b20 v10.0	293,47	10,584	9,629	36,063	1570,813
7	PP T A h20 b20 v0.1	384,14	12,065	11,547	31,407	1265,404
8	PP T A h20 b20 v1.0	385,93	13,124	10,940	34,006	1331,447
9	PP T A h20 b20 v10.0	388,46	14,020	10,333	36,090	1449,528
10	PP T A h25 b20 v0.1	497,02	15,240	13,985	30,663	1222,477
11	PP T A h25 b20 v1.0	487,84	16,230	14,852	33,269	1340,850
12	PP T A h25 b20 v10.0	504,91	18,347	7,770	36,337	1291,085
13	PP T B h10 b20 v0.1	198,88	5,481	5,363	27,561	1823,879
14	PP T B h10 b20 v1.0	198,20	4,939	3,382	24,921	1982,793
15	PP T B h10 b20 v10.0	191,01	3,584	1,706	18,765	2026,459
16	PP T B h15 b20 v0.1	299,92	6,643	2,843	22,148	1518,772
17	PP T B h15 b20 v1.0	291,67	5,002	1,665	17,148	1660,857
18	PP T B h15 b20 v10.0	293,88	5,368	1,683	18,266	1787,413
19	PP T B h20 b20 v0.1	384,59	10,695	2,492	27,810	1170,875
20	PP T B h20 b20 v1.0	386,64	6,744	2,025	17,444	1306,703
21	PP T B h20 b20 v10.0	388,27	6,263	1,663	16,129	1331,872
22	PP T B h25 b25 v0.1	615,04	6,616	1,365	10,757	975,862
23	PP T B h25 b25 v1.0	613,31	6,361	1,355	10,372	1147,555
24	PP T B h25 b25 v10.0	615,16	5,412	0,999	8,798	1164,041
25	PP T C h10 b20 v0.1	199,79	5,863	6,518	29,488	1522,859
26	PP T C h10 b20 v1.0	197,20	6,728	8,186	33,926	1648,713
27	PP T C h10 b20 v10.0	192,32	5,162	3,205	27,025	1819,864
28	PP T C h15 b20 v0.1	300,10	9,438	9,017	31,490	1345,033
29	PP T C h15 b20 v1.0	292,53	9,924	8,369	34,025	1500,977
30	PP T C h15 b20 v10.0	293,41	10,182	4,752	34,622	1585,892
31	PP T C h20 b20 v0.1	383,65	11,686	9,300	30,421	1259,340
32	PP T C h20 b20 v1.0	386,29	13,491	8,804	34,911	1330,006
33	PP T C h20 b20 v10.0	388,33	13,879	8,353	35,802	1357,983
34	PP T C h25 b25 v0.1	614,30	19,123	11,817	31,043	1045,814
35	PP T C h25 b25 v1.0	612,62	19,875	7,028	32,319	1123,383
36	PP T C h25 b25 v10.0	612,07	19,128	4,087	31,141	1178,310

Tab. 4-6 Naměřené hodnoty z tahové zkoušky pro polyetylén

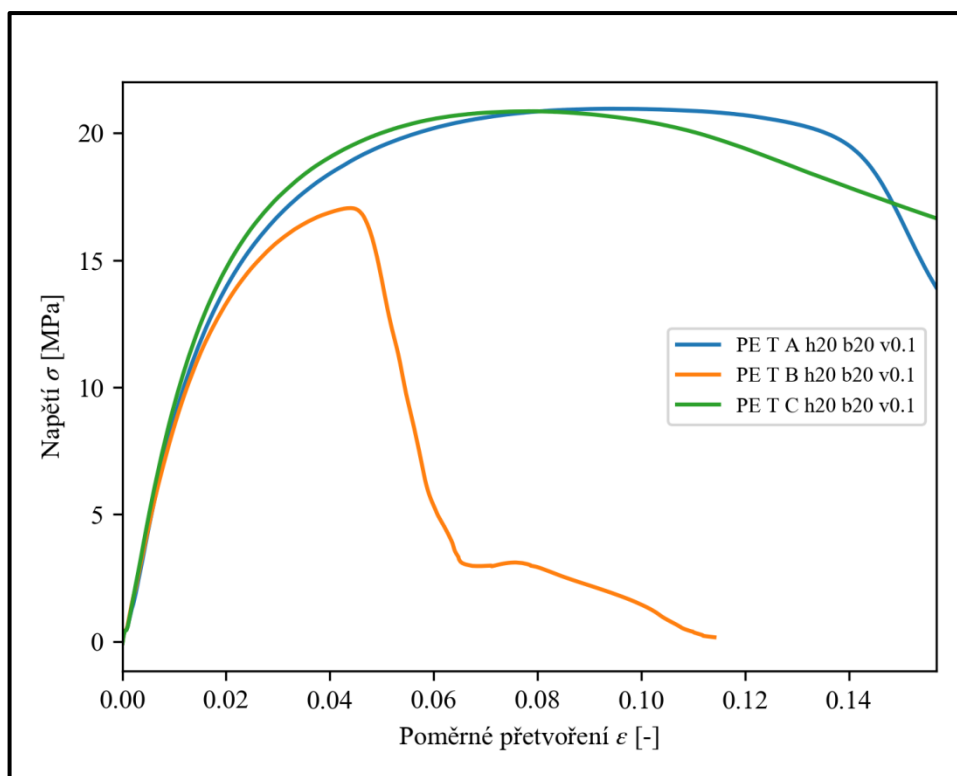
	Označení zkušebního tělesa	Plocha průřezu A [mm ²]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]	Napětí při F_{\max} σ_{\max} [MPa]	Modul pružnosti E [MPa]
37	PE T A h10 b20 v0.1	159,61	4,079	14,179	25,558	1065,646
38	PE T A h10 b20 v1.0	164,93	4,762	11,104	28,870	1256,073
39	PE T A h10 b20 v10.0	165,22	5,260	9,122	31,838	1368,808
40	PE T A h15 b20 v0.1	255,91	6,305	18,205	24,636	813,656
41	PE T A h15 b20 v1.0	247,87	7,222	13,856	29,137	1022,970
42	PE T A h15 b20 v10.0	242,65	7,750	10,451	31,941	1143,569
43	PE T A h20 b20 v0.1	335,09	8,263	18,787	24,658	697,828
44	PE T A h20 b20 v1.0	330,79	9,510	14,281	28,749	854,373
45	PE T A h20 b20 v10.0	318,82	9,973	10,433	31,280	1053,340
46	PE T B h10 b20 v0.1	189,86	4,194	17,213	22,089	1078,076
47	PE T B h10 b20 v1.0	195,38	4,686	12,037	23,985	1245,470
48	PE T B h10 b20 v10.0	195,30	5,345	11,911	27,366	1370,520
49	PE T B h15 b20 v0.1	300,48	4,811	5,363	16,012	853,930
50	PE T B h15 b20 v1.0	292,40	6,970	9,605	23,836	1058,721
51	PE T B h15 b20 v10.0	286,51	7,770	8,727	27,118	1235,990
52	PE T B h20 b20 v0.1	395,31	6,739	8,434	17,046	797,820
53	PE T B h20 b20 v1.0	390,26	7,088	5,077	18,162	932,055
54	PE T B h20 b20 v10.0	378,70	7,787	4,698	20,563	1104,190
55	PE T B h25 b25 v0.1	616,47	8,918	8,112	14,467	630,411
56	PE T B h25 b25 v1.0	613,92	10,153	7,026	16,538	713,417
57	PE T B h25 b25 v10.0	614,79	10,846	5,930	17,641	840,079
58	PE T C h10 b20 v0.1	189,81	4,153	15,600	21,875	1019,682
59	PE T C h10 b20 v1.0	195,56	5,084	13,986	25,963	1263,568
60	PE T C h10 b20 v10.0	195,38	5,606	12,282	28,648	1493,541
61	PE T C h15 b20 v0.1	300,79	6,392	16,075	21,289	808,619
62	PE T C h15 b20 v1.0	292,11	7,571	14,486	25,903	1170,411
63	PE T C h15 b20 v10.0	286,71	8,149	13,190	28,452	1219,749
64	PE T C h20 b20 v0.1	393,57	8,227	15,302	20,855	865,073
65	PE T C h20 b20 v1.0	389,66	10,250	14,856	26,199	948,341
66	PE T C h20 b20 v10.0	376,35	11,296	13,074	29,775	1077,056
67	PE T C h25 b25 v0.1	613,37	13,386	19,791	21,763	716,452
68	PE T C h25 b25 v1.0	611,57	15,627	17,706	25,454	850,611
69	PE T C h25 b25 v10.0	613,61	17,569	13,912	28,531	894,948

Pro přehlednější porovnání jednotlivých parametrů posloužily grafy, ve kterých jsou funkce všech porovnávaných zkušebních těles dohromady. Jako první jsem vyšetřoval závislost na rychlosti zatěžování. U polypropylénu se hodnoty maximálního napětí σ_{\max} (popř. modulu pružnosti E) zvyšovaly se zvyšující se rychlostí zatěžování u těles bez svarů. U svařovaných těles nebyla závislost na rychlosti zatěžování pozorována, což mohla zapříčiňovat kvalita provedení zkušebních těles. U polyetylénu byly pozorovány zvýšené hodnoty se zvyšující se rychlostí zatěžování u všech typů těles. Pro ukázkou uvádím závislosti napětí a poměrného přetvoření u polyetylénových těles bez svaru tloušťky 20 mm rozlišených pouze testovanými rychlostmi (obr. 4-9).



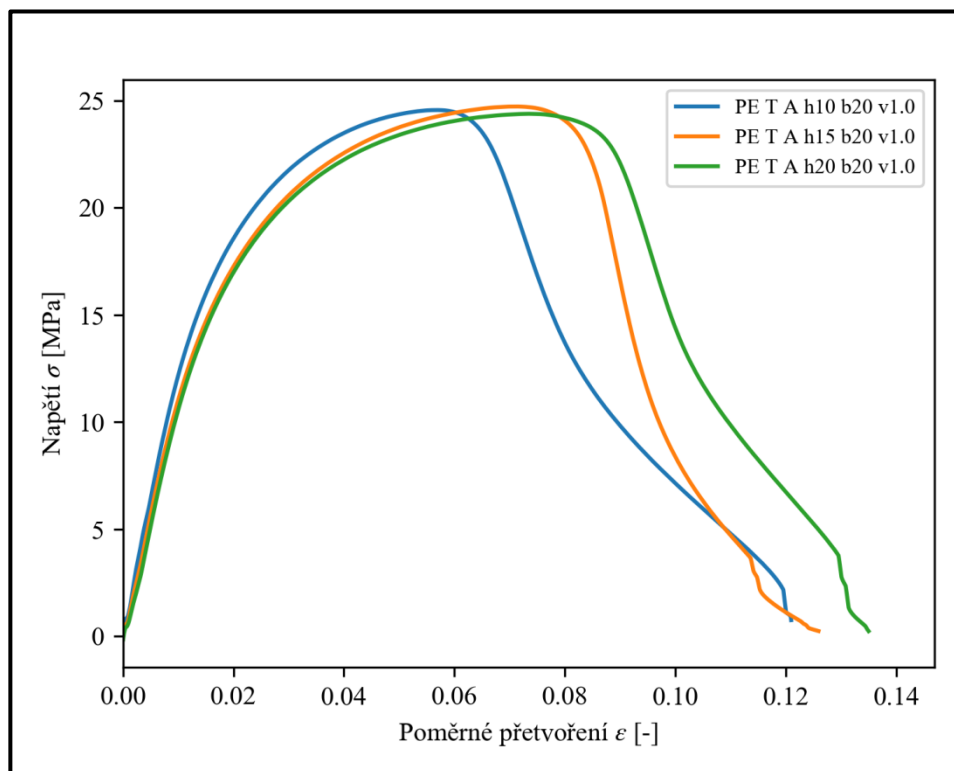
Obr. 4-9 Srovnání zatěžovacích rychlostí 0,1 mm/s, 1 mm/s a 10 mm/s

Další porovnání, které mě zajímalo, se týkalo svarů. Byla tedy srovnávána tělesa bez svarů s tělesy s oboustrannými koutovými svary a tělesy s tupými svary. Tupé svary vykazovaly u obou materiálů hodnoty maximálního napětí σ_{\max} blíží se hodnotám zkušebních těles bez svaru. Naopak u koutových svarů byly zaznamenány výrazně snížené hodnoty. Nejvyšší rozdíl únosnosti těles s koutovými svary a bez svaru jsem pozoroval u těles s největší plochou průřezu a byl až 30 %. Pro ilustraci tohoto srovnání uvádím závislosti napětí a poměrného přetvoření u polyetylénových těles tloušťky 20 mm, rychlosti zatěžování 0,1 mm/s všech tří variant A až C (obr. 4-10).



Obr. 4-10 Srovnání těles typ A, typ B a typ C

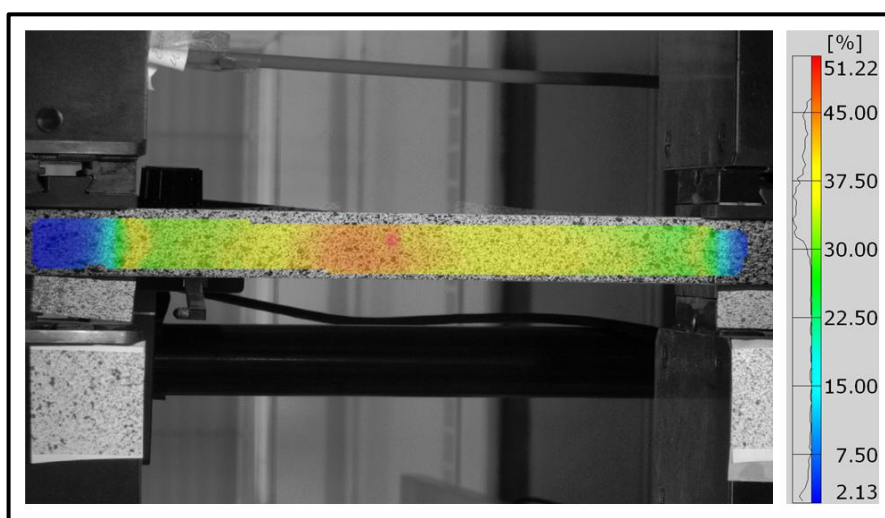
V posledním zkoumání jsem se zaměřil na vliv tloušťky průřezu. Kromě pár odchylek, které byly pravděpodobně způsobeny nepřesnostmi z výroby, se tento vliv projevil u obou materiálů minimálně. Jistý trend lze pozorovat v tom smyslu, že ve



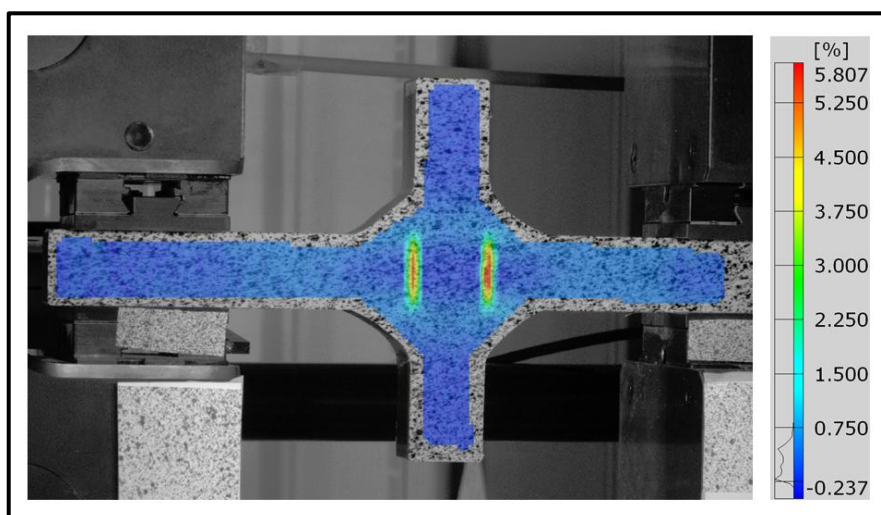
Obr. 4-11 Srovnání těles s tloušťkami 10 mm, 15 mm a 20 mm

většině případů vykazovaly menší tloušťky vyšší hodnoty únosnosti a tuhosti než tloušťky větší. Pro porovnání opět uvádím trojici těles. Jedná se o polyetylenová tělesa bez svarů zatěžovaná rychlostí 1 mm/s s tloušťkou 10 mm, 15 mm a 20 mm (obr. 4-11).

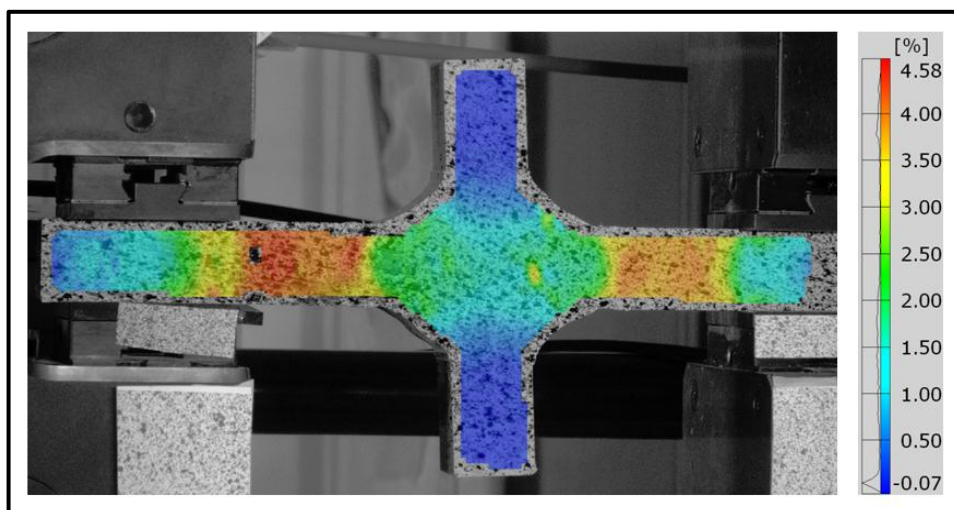
Dalším krokem bylo vyhodnocení dat z programu Aramis. Z výsledků softwarového výpočtu je patrné, kde vznikaly jaké deformace. U těles bez svarů se tato místa nacházela uprostřed, v ojedinělých případech u podpor. Pro ilustraci uvádím obrázek napětí na polypropylénovém tělese typu A (obr. 4-12) o tloušťce 25 mm zatěžovaném rychlostí 1 mm/s krátce před přetržením a pro porovnání ještě tělesa se stejnými parametry typu B (obr. 4-13) a typu C (obr. 4-14).



Obr. 4-12 Napětí na tělese (PP T A h25 b20 v1.0) krátce před porušením



Obr. 4-13 Napětí na tělese (PP T B h25 b25 v1.0) krátce před porušením svaru



Obr. 4-14 Napětí na tělese (PP T C h25 b25 v1.0) krátce před porušením svaru

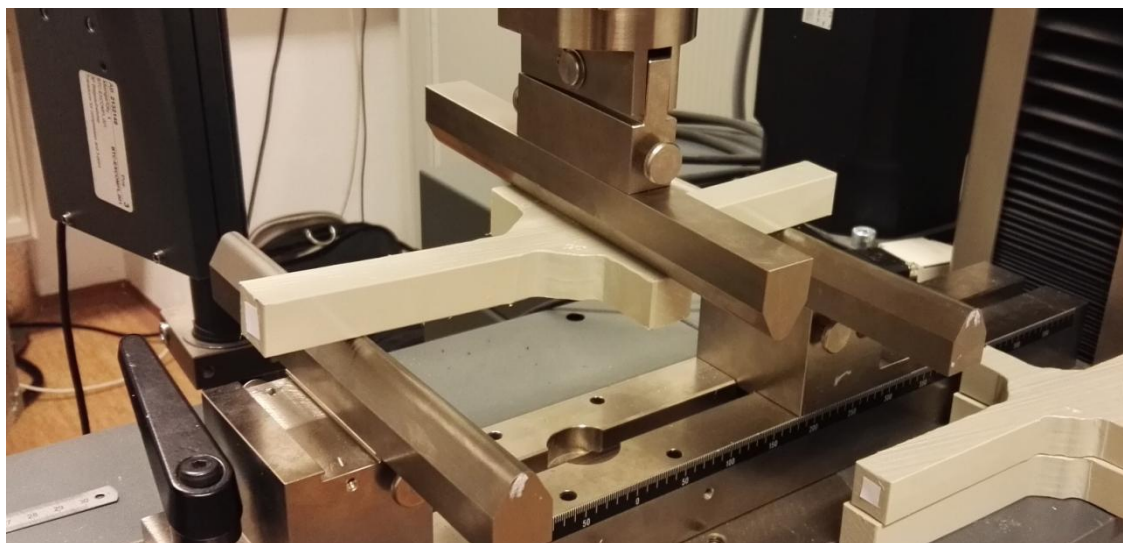
Z výsledků je patrné, že na hodnoty modulu pružnosti E i maximální síly F_{\max} získané ze zkoušení tahem má největší vliv rychlost zatěžování. Všeobecně byl závislost taková, že tvarově a materiálově stejná tělesa vykazovala vyšší únosnost i tuhost při vyšší rychlosti zatěžování. Při zatěžování rychlostí 0,1 mm/s byly hodnoty o cca 10 – 30 % nižší než při zatěžování rychlostí 10 mm/s u obou zkoušených materiálů.

Zkušební tělesa bez svaru měla očekávaně nejvyšší únosnost, ale tělesa s tupými svary se těmito hodnotám značně blížily. U polypropylénu byla únosnost těles s tupými svary o cca 10 % nižší než únosnost těles bez svarů, u polyetylénu dokonce cca o 5 %. Tělesa s oboustrannými koutovými svary měla únosnost o cca 30 – 50 % nižší než nesvařovaná tělesa u polypropylénu, o cca 15 – 35 % nižší u polyetylénu.

Polypropylénová zkušební tělesa se chovala většinou křehce, polyetylénová zkušební tělesa se porušovala houževnatě.

4.4 Zkouška ohybem

Při namáhání zkušebních těles ohybem byly nejprve kloubově uchyceny podpory pro třibodový ohyb, dvě spodní pevné podpory ve vzdálenosti 200 mm a horní posuvná uprostřed obou spodních. Vertikální vzdálenost mezi podporami byla vždy individuálně stanovena podle šířky aktuálně zkoušeného tělesa. Některá tělesa kvůli nepřesnostem nedoléhaly na celou plochu všech podpor. Rozhodl jsem se pro aplikovatelnou metodu bočního zatěžování na svar, která byla strojem snadno proveditelná.



Obr. 4-15 Uchycení tělesa (PP O C h20 b20 v0.1) při ohybové zkoušce



Obr. 4-16 Porušení tělesa (PP O C h20 b20 v0.1) při ohybové zkoušce

Při měření ohybem nebylo možné využít snímání kamerami pro program Aramis tak komplexně jako u tahové zkoušky. Je totiž třeba rovná plocha zepředu tělesa. Nicméně u těles bez svarů se tato metoda aplikovat dala. Pro start zatěžování zkušebních těles bylo třeba synchronizovat začátek snímání programu Aramis

kamerami a měření programu Zwick z přístroje, což bylo provedeno odpočítáním přímo při měření, následně přesně doladěno ve vyhodnocení výsledků podle časů obou záznamů.

Stejně jako u testování tahovou silou jsem měl vždy tři totožná tělesa pro zatěžování různými rychlostmi. Pro experiment byly zvoleny opět rychlosti 0,1 mm/s, 1,0 mm/s a 10,0 mm/s. Začal jsem od zkušebních těles typu A s nejmenší plochou průřezu a postupovali až k největším plochám. U ohybové zkoušky nenastal problém s okrajovými podmínkami, jako u zkoušky tahové tzn. porušení nastávalo v předpokládaném místě, tudíž nebylo třeba tělesa navrtávat ani jinak upravovat. Poté byla namáhána tělesa typu B a nakonec tělesa typu C.

Pro veškeré údaje jednotlivých těles ze zkoušení ohybem lze nahlédnout do přílohové části této práce (zkušební tělesa č. 70-138), kde jsou seřazeny podle tabulek 4-7 (polypropylén) a 4-8 (polyetylén). Lze zde nalézt údaje jako označení zkušebního tělesa, typ svaru, rozměry a schéma tělesa, rychlost zatěžování, maximální síla, čas a posun při dosažení maximální síly, fotografie způsobu porušení a graf závislosti síly F a posunu u .

4.4.1 Výsledky ze zkoušky ohybem

Při bočním namáhání ohybem se zatěžovaná tělesa se svary porušovala u hrany svaru, v některých případech svary vydržely vizuálně neporušeny. Tělesa typu A se pouze ohnula. Ze zkoušky ohybem jsem získal hodnoty sil v závislosti na posunu příčnicku. Z těchto hodnot bylo možné odečíst maximální sílu F_{\max} , kterou byl vzorek schopen přenést, dobu od začátku zatěžování, po které byla tato síla vyvozena a posun příčnicku v tomto okamžiku. Vznikla tak přehledná tabulka sdružující všechny tyto hodnoty přehledně vedle sebe pro porovnání jednotlivých těles zvlášť pro polypropylén (tab. 4-7) a zvlášť pro polyetylén (tab. 4-8). U ohybové zkoušky jsou výsledky značně zkreslené především nepřesnostmi těles. Výsledky maximálních sil F_{\max} jsou značně nižší než u tahové zkoušky (v některých případech až o 95 % nižší než je maximální síla u zkoušky v tahu).

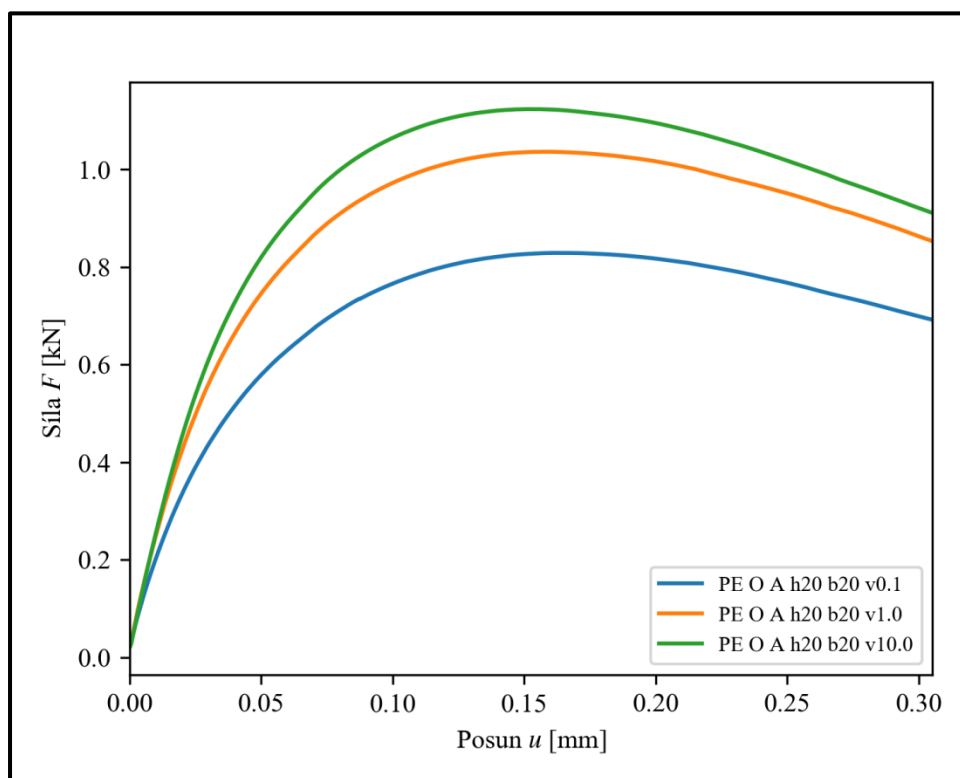
Tab. 4-7 Naměřené hodnoty z ohybové zkoušky pro polypropylén

	Označení zkušebního tělesa	Maximální síla F_{\max} [kN]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
70	PP O A h10 b20 v0.1	0,261	0,197
71	PP O A h10 b20 v1.0	0,294	0,195
72	PP O A h10 b20 v10.0	0,321	0,190
73	PP O A h15 b20 v0.1	0,738	0,162
74	PP O A h15 b20 v1.0	0,809	0,160
75	PP O A h15 b20 v10.0	0,879	0,159
76	PP O A h20 b20 v0.1	1,422	0,178
77	PP O A h20 b20 v1.0	1,519	0,141
78	PP O A h20 b20 v10.0	1,678	0,139
79	PP O A h25 b20 v0.1	2,696	0,105
80	PP O A h25 b20 v1.0	2,720	0,126
81	PP O A h25 b20 v10.0	2,922	0,134
82	PP O B h10 b20 v0.1	0,766	0,143
83	PP O B h10 b20 v1.0	0,844	0,139
84	PP O B h10 b20 v10.0	0,714	0,060
85	PP O B h15 b20 v0.1	0,792	0,035
86	PP O B h15 b20 v1.0	0,936	0,032
87	PP O B h15 b20 v10.0	0,686	0,034
88	PP O B h20 b20 v0.1	1,739	0,149
89	PP O B h20 b20 v1.0	1,901	0,143
90	PP O B h20 b20 v10.0	1,070	0,033
91	PP O B h25 b25 v0.1	2,934	0,081
92	PP O B h25 b25 v1.0	1,857	0,027
93	PP O B h25 b25 v10.0	0,819	0,014
94	PP O C h10 b20 v0.1	0,852	0,132
95	PP O C h10 b20 v1.0	0,885	0,133
96	PP O C h10 b20 v10.0	0,992	0,131
97	PP O C h15 b20 v0.1	1,367	0,135
98	PP O C h15 b20 v1.0	1,515	0,139
99	PP O C h15 b20 v10.0	1,775	0,136
100	PP O C h20 b20 v0.1	1,859	0,143
101	PP O C h20 b20 v1.0	1,883	0,077
102	PP O C h20 b20 v10.0	2,052	0,058
103	PP O C h25 b25 v0.1	4,266	0,125
104	PP O C h25 b25 v1.0	4,140	0,132
105	PP O C h25 b25 v10.0	3,603	0,059

Tab. 4-8 Naměřené hodnoty z ohybové zkoušky pro polyetylén

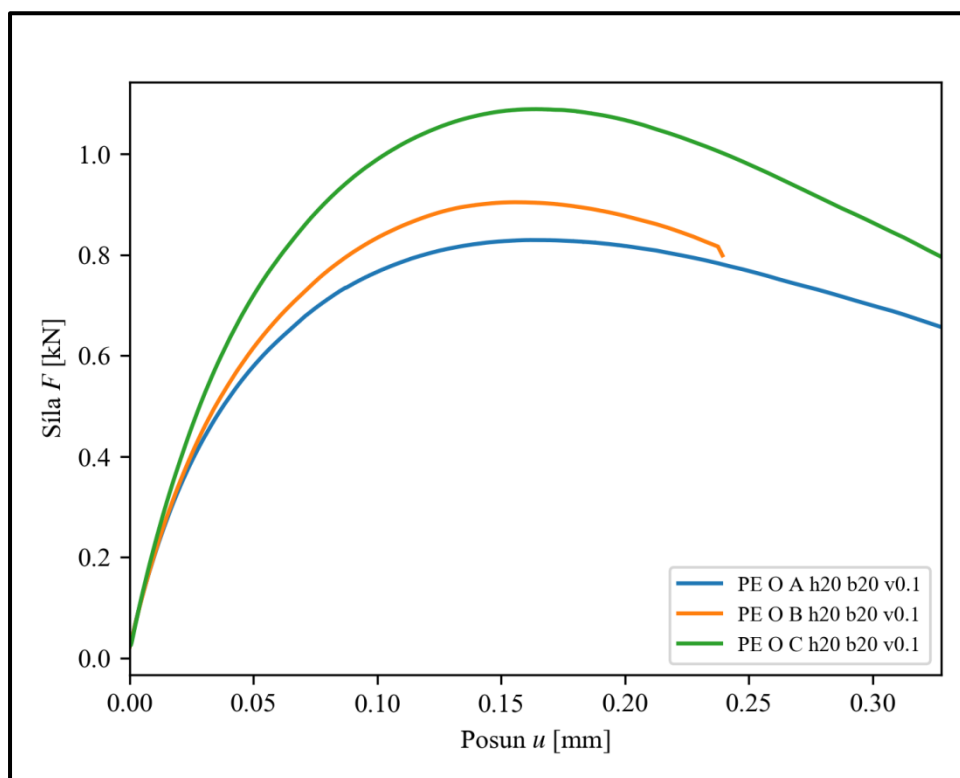
	Označení zkušebního tělesa	Maximální síla F_{\max} [kN]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
106	PE O A h10 b20 v0.1	0,155	0,187
107	PE O A h10 b20 v1.0	0,187	0,189
108	PE O A h10 b20 v10.0	0,223	0,178
109	PE O A h15 b20 v0.1	0,386	0,178
110	PE O A h15 b20 v1.0	0,517	0,175
111	PE O A h15 b20 v10.0	0,597	0,169
112	PE O A h20 b20 v0.1	0,829	0,162
113	PE O A h20 b20 v1.0	1,036	0,159
114	PE O A h20 b20 v10.0	1,124	0,153
115	PE O B h10 b20 v0.1	0,471	0,166
116	PE O B h10 b20 v1.0	0,543	0,156
117	PE O B h10 b20 v10.0	0,695	0,148
118	PE O B h15 b20 v0.1	0,727	0,164
119	PE O B h15 b20 v1.0	0,869	0,163
120	PE O B h15 b20 v10.0	0,875	0,068
121	PE O B h20 b20 v0.1	0,904	0,157
122	PE O B h20 b20 v1.0	1,021	0,143
123	PE O B h20 b20 v10.0	0,875	0,035
124	PE O B h25 b25 v0.1	1,317	0,151
125	PE O B h25 b25 v1.0	2,043	0,128
126	PE O B h25 b25 v10.0	2,298	0,108
127	PE O C h10 b20 v0.1	0,522	0,158
128	PE O C h10 b20 v1.0	0,595	0,148
129	PE O C h10 b20 v10.0	0,670	0,144
130	PE O C h15 b20 v0.1	0,622	0,078
131	PE O C h15 b20 v1.0	0,927	0,154
132	PE O C h15 b20 v10.0	1,023	0,103
133	PE O C h20 b20 v0.1	1,089	0,164
134	PE O C h20 b20 v1.0	1,388	0,158
135	PE O C h20 b20 v10.0	1,603	0,154
136	PE O C h25 b25 v0.1	2,164	0,164
137	PE O C h25 b25 v1.0	2,670	0,158
138	PE O C h25 b25 v10.0	2,939	0,151

Pro přehlednější porovnání jednotlivých parametrů posloužily grafy, ve kterých jsou funkce všech porovnávaných těles dohromady. Jako první jsem vyšetřoval závislost na rychlosti zatěžování. U těles bez svaru se maximální přenesená síla F_{\max} zvyšovala se zvyšující se rychlostí zatěžování u polypropylénu i polyetylénu. U svařovaných těles již žádná závislost mezi těmito hodnotami nebyla zaznamenána, což mohlo být způsobeno kvalitou provedení svarů. Ale rozdíly nejsou velké. Pro ukázkou uvádím závislosti napětí a poměrného přetvoření u polyetylenových těles bez svarů tloušťky 20 mm rozlišených pouze testovanými rychlostmi (obr. 4-17).



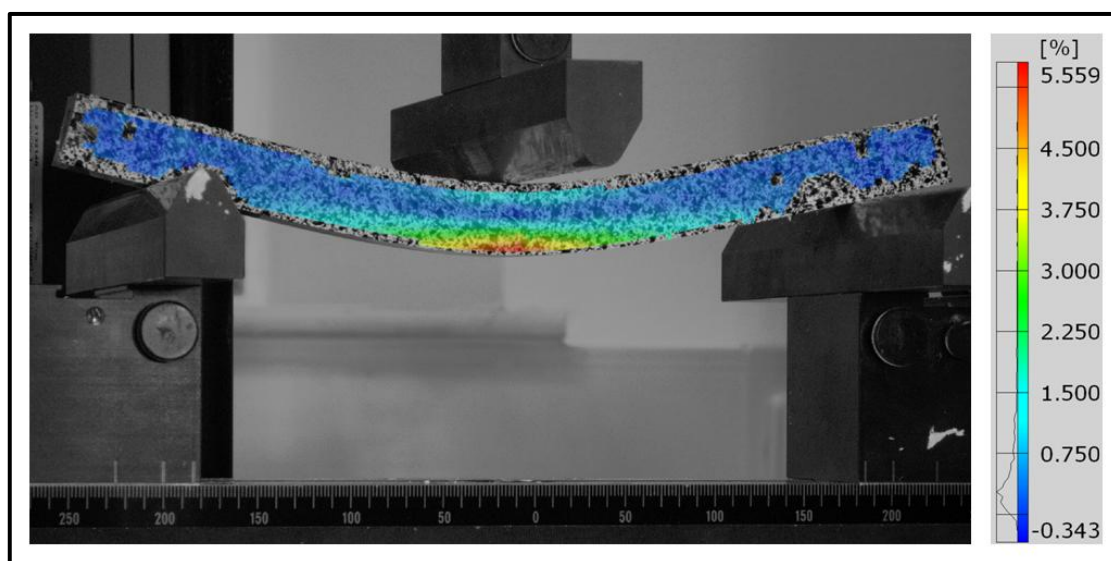
Obr. 4-17 Srovnání zatěžovacích rychlostí 0,1 mm/s, 1 mm/s a 10 mm/s

Další porovnání, které mě zajímalo, se týkalo svarů. Byla tedy srovnávána tělesa bez svarů s tělesy s oboustrannými koutovými svary a tělesy s tupými svary. Zajímavé bylo, že při bočním ohybovém namáhání byla naměřena u svařovaných těles vyšší maximální přenesená síla F_{\max} než u zkušebních těles bez svarů. Zkušební tělesa s tupými svary přenesla vyšší sílu než tělesa s oboustrannými koutovými svary. Pro ilustraci tohoto srovnání uvádím závislosti napětí a poměrného přetvoření u polyetylenových těles tloušťky 20 mm, rychlosti zatěžování 0,1 mm/s všech tří variant A až C (obr. 4-18).

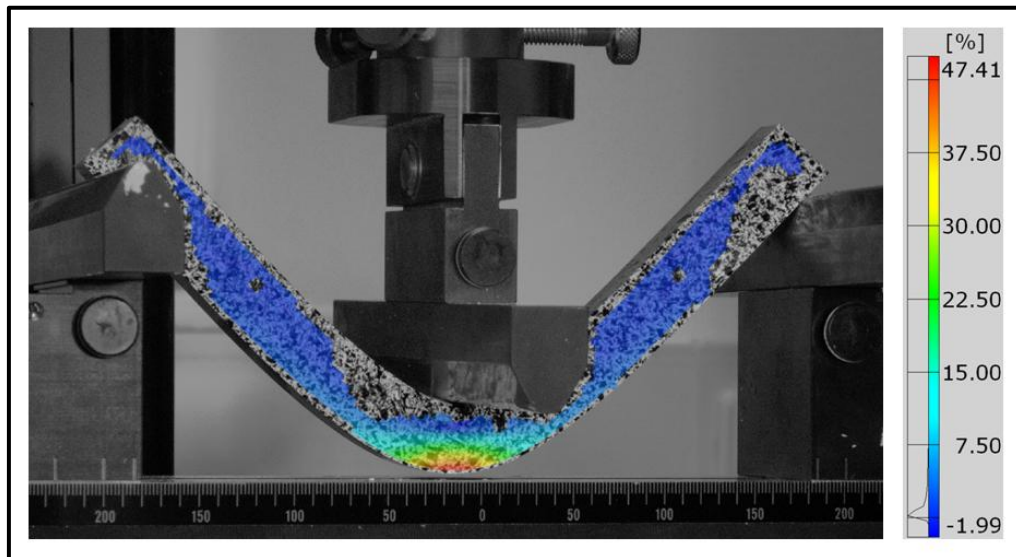


Obr. 4-18 Srovnání těles bez svaru a se svarem

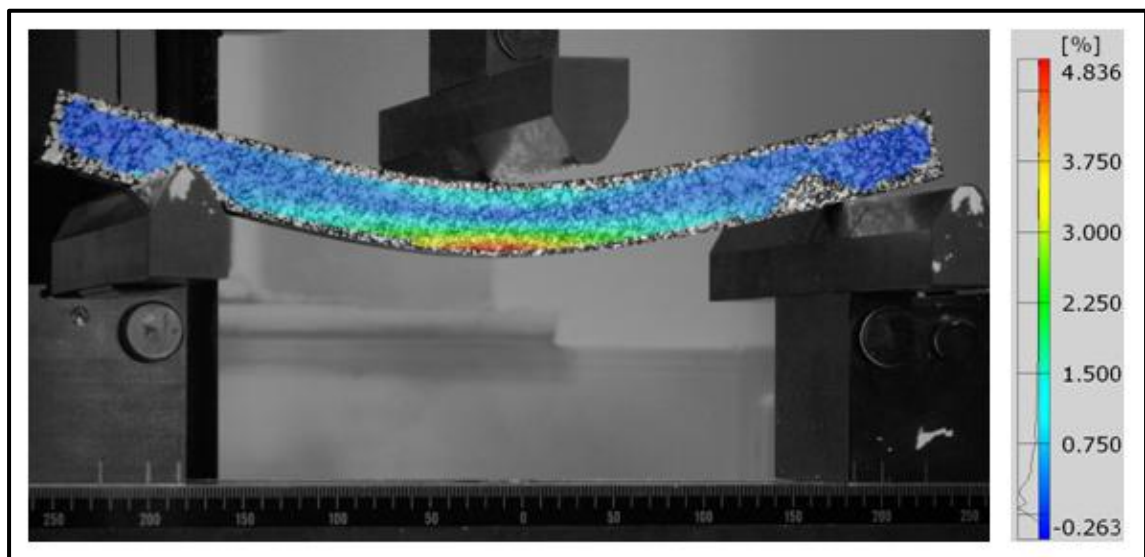
Z programu Aramis byla k dispozici (vzhledem ke geometrii zkušebních těles se svary) pouze data pro zkušební tělesa bez svaru. Softwarový výpočet ukazuje pro jednotlivé okamžiky zkoušky vzniklé deformace po celé ploše přední strany tělesa. Pro srovnání uvádím snímky ze zkoušek ohybem jednoho polypropylénového a jednoho polyetylénového tělesa. Vybral jsem tělesa o tloušťce 20 mm zatěžované rychlostí 0,1 mm/s. Jedná se o snímek krátce po začátku a poslední snímek zkoušky pro oba materiály (obr. 4-19 až 4-22).



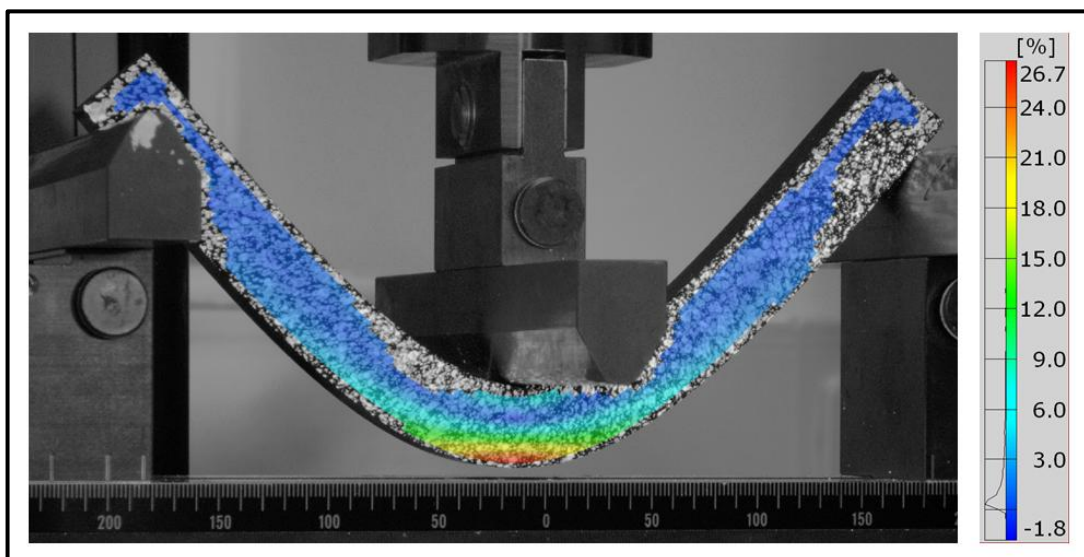
Obr. 4-19 Snímek PP O A h20 b20 v0.1 krátce po začátku ohybové zkoušky



Obr. 4-20 Poslední snímek PP O A h20 b20 v0.1 z ohybové zkoušky

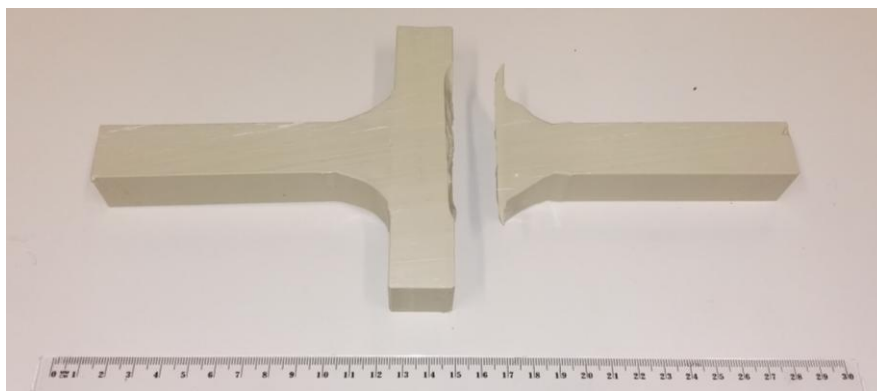


Obr. 4-21 Snímek PE O A h20 b20 v0.1 krátce po začátku ohybové zkoušky

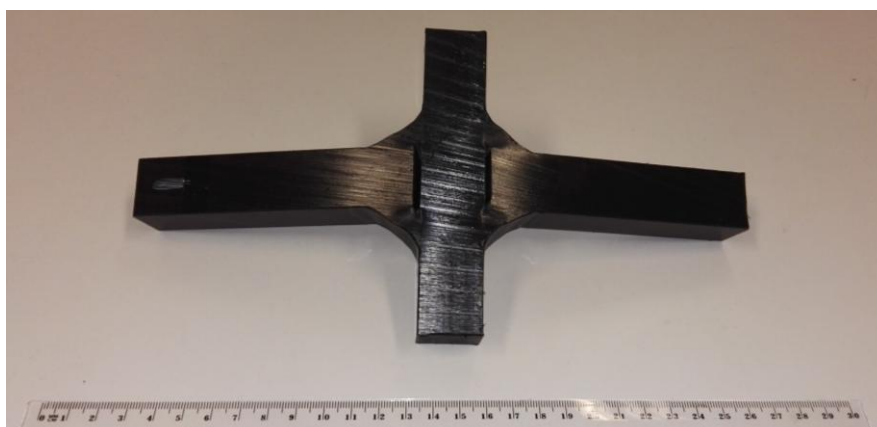


Obr. 4-22 Poslední snímek PE O A h20 b20 v0.1 z ohybové zkoušky

Z výsledků je patrné, že na hodnoty maximální přenesené síly F_{\max} získané ze zkoušení ohybem má vliv rychlost zatěžování především u nesvařovaných těles. U těles se svary se tato závislost může projevit rovněž, ale pro toto zhodnocení by bylo třeba provést studii s přesněji vyrobenými zkušebními tělesy. Se zkušebními tělesy, které jsem měl k dispozici, žádná závislost ze zkoušky ohybem nevyplynula.



Obr. 4-23 Porušení tělesa PP O C h25 b25 v0.1 z ohybové zkoušky



Obr. 4-24 Porušení tělesa PE O C h25 b25 v0.1 z ohybové zkoušky

Při srovnávání zkušebních těles bez svarů, s oboustrannými koutovými svary a s tupými svary se ukázalo, že svařovaná tělesa vykazovala vyšší únosnost než tělesa bez svarů. Zkušební tělesa s tupými svary přenesla větší síly než tělesa s oboustrannými koutovými svary.

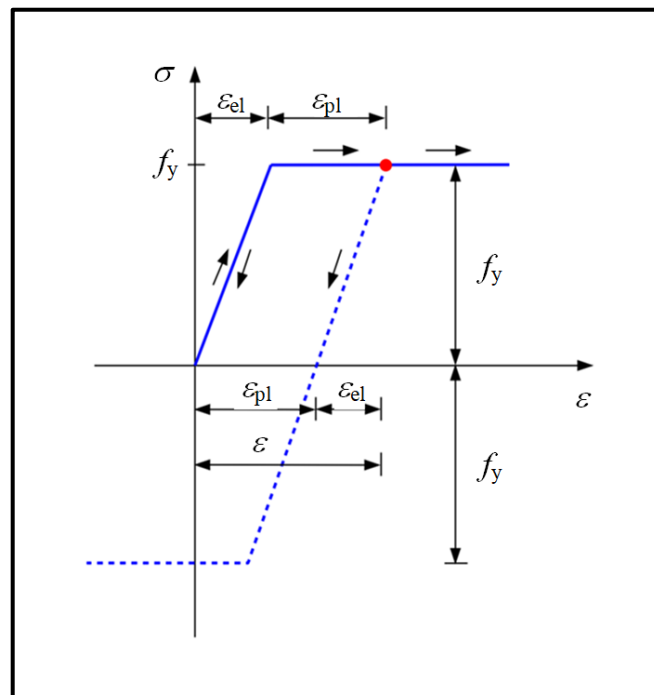
Polypropylénová tělesa se porušovala ve většině případů křehce, na druhé straně polyetylénová tělesa se chovala spíše houževnatě. Celkově se dá říci, že výsledky z ohybové zkoušky jsou velmi nesourodé a pro přesnější zhodnocení by bylo třeba tento experiment rozšířit.

5 Teoretická část

V této kapitole se zabývám ideálně pružnoplastickým chováním materiálu. Dále si definuji základní vzorce, se kterými budu ve vyhodnocování pracovat. Jedná se především o maximální tahovou sílu při ideálně pružnoplastickém chování materiálu a maximální sílu při ohybu při ideálně pružnoplastickém chování materiálu. Pro numerické analýzy jsem v této práci využíval program ANSYS, představím tedy elementy, které jsem při vytváření modelů používal.

5.1 Ideálně pružnoplastický materiál

Materiál se při ideálně pružnoplastickém chování může při zatěžování chovat buď elasticky (pružně) nebo plasticky. Při elastickém chování se i po namáhání vrátí do původní konfigurace. Při plastickém tzv. zplastizuje a po odciążení vzniká trvalá deformace.



Obr. 5-1 Prandtlův diagram ideálně pružnoplastického chování materiálu [14]

U ideálně pružnoplastického materiálu je celková deformace ε rovna součtu deformace plastické ε_{pl} a elastické ε_{el} :

$$\varepsilon = \varepsilon_{pl} + \varepsilon_{el}. \quad (5.1)$$

Hranicí těchto dvou chování je mez kluzu materiálu f_y . Při zatěžování do meze kluzu je vzniklá deformace elastická, v okamžiku dosažení meze kluzu už vzniká pouze plastická deformace. Modul pružnosti v tahu E je určen z šikmé lineární části grafu a je definován vzorcem:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (5.2)$$

Pokud se nejedná o případ materiálu se zpevněním vyšší hodnoty než meze kluzu nelze u ideálně pružnoplastického materiálu dosáhnout. Chování při zatěžování popisuje tzv. Prandtlův diagram (obr. 5-1) [15].

5.2 Tah

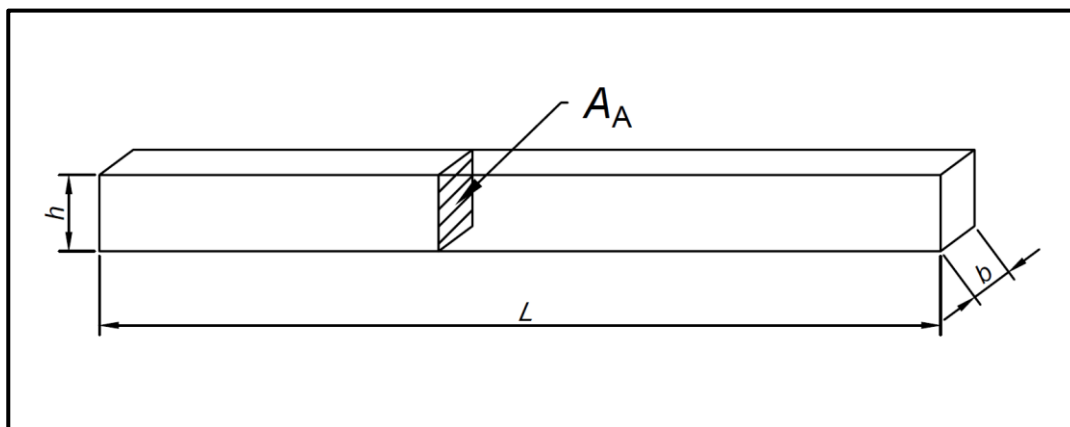
Při namáhání konstantního průřezu tahovou silou se vychází ze dvou základních předpokladů [14]:

- průřezy rovinné a kolmé k ose před deformací zůstanou rovinnými a kolmými i k deformované ose (Bernoulliho hypotéza),
- podélná vlákna na sebe navzájem netlačí.

Velikost normálových napětí je rovna:

$$\sigma_x = \frac{N}{A}. \quad (5.3)$$

Pro jednotlivé typy těles z experimentální části je třeba si definovat plochu, na které zatížení působí. U typu A se jedná o celou plochu průřezu (obr. 5-2).

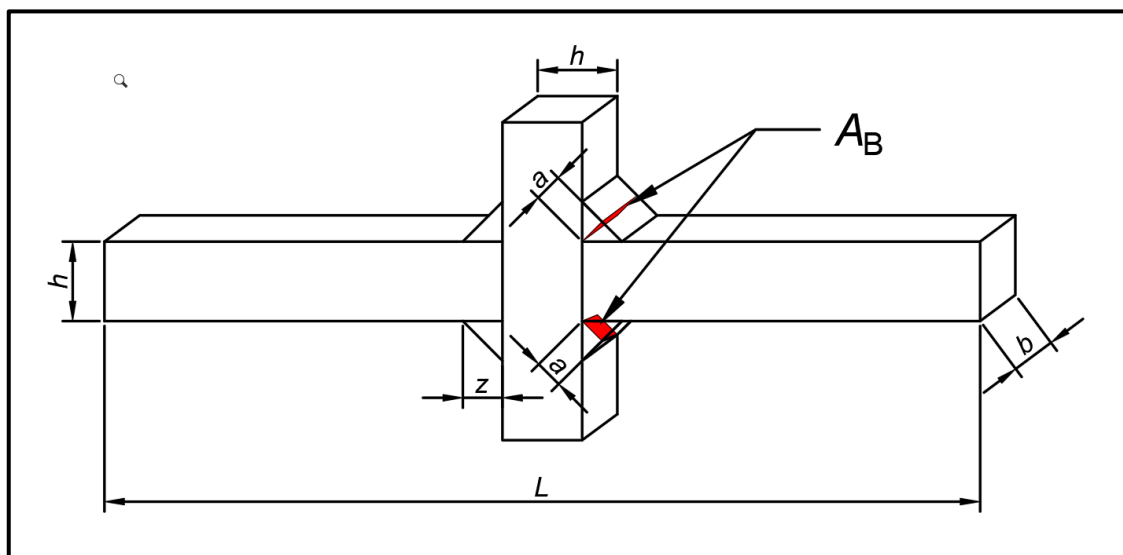


Obr. 5-2 Plocha průřezu u typu A

U typu B se jedná o tzv. účinnou plochu průřezu, která vychází z účinného rozměru svaru a vypočítá se ze vzorce (obr. 5-3):

$$A_B = 2ab. \quad (5.4)$$

Tuto plochu je pro zjednodušený výpočet potřeba sklopit do roviny kolmé ke směru působení tahové síly.



Obr. 5-3 Plocha průřezu u typu B

Pro výpočet maximální zatížitelnosti se použije výpočet pomocí vzorce (5.3) pro jednotlivé síly, kde se za σ_x dosadí mez kluzu materiálu v tahu f_y :

$$N_{pl,A} = f_y A_A, \quad (5.5)$$

$$N_{pl,B} = f_k f_y A_B, \quad (5.6)$$

kde f_k je krátkodobý svařovací faktor (pro svařování extrudérem).

Svary u těles typu C jsou celé provařené a pro výpočet normálových napětí se použije stejná plocha jako u typu A (obr. 5-2), neboť tato plocha je menší než plocha svarů a napětí je třeba uvažovat v nejslabším místě zkušebního tělesa [15].

5.3 Ohyb

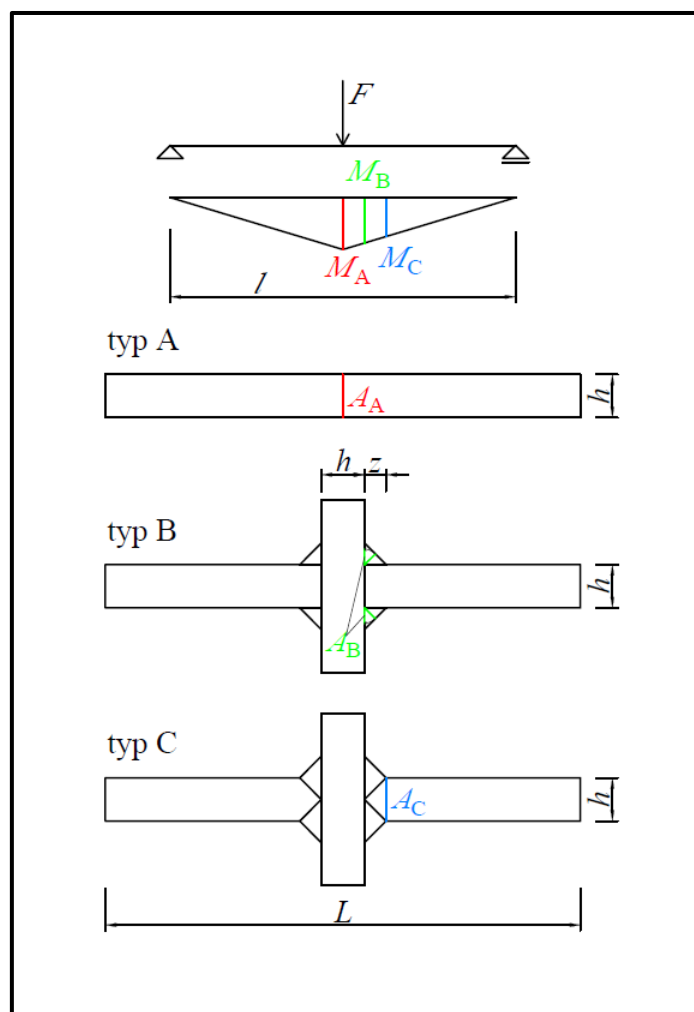
Při namáhání ohybem vznikají v průřezích ohybové momenty M a posouvající síly V . Osa tělesa se mění ohnutím na rovinnou popř. prostorovou křivku. Opět jako u tahu se vychází ze dvou základních předpokladů [14]:

- průřezy zůstávají rovinnými a kolmými k ose prutu i po deformaci (Bernoulliho hypotéza),
- podélná vlákna na sebe navzájem netlačí.

Velikost normálových napětí je rovna:

$$\sigma_x = \frac{M}{W}, \quad (5.7)$$

kde M je ohybový moment a W je průřezový modul. Ohybový moment se vypočítá podle typu tělesa z klasického statického schématu.



Obr. 5-4 Statické schéma pro výpočet ohybového momentu jednotlivých typů těles

Pro stanovení ohybových momentů M (obr. 5-4) je tedy třeba vycházet z podmínek rovnováhy sil. Pro jednotlivá tělesa se stanoví:

$$M_A = \frac{1}{4}Fl, \quad (5.8)$$

$$M_B = \frac{1}{4}F(l - h), \quad (5.9)$$

$$M_C = \frac{1}{4}F(l - h - 2z). \quad (5.10)$$

Výpočet průřezového modulu W závisí na tom, jestli se uvažuje elastický průřezový modul W_{el} nebo plastický W_{pl} . Pro obdélníkový průřez se tyto dvě veličiny stanoví na základě vzorců:

$$W_{el} = \frac{1}{6}bh^2, \quad (5.11)$$

$$W_{pl} = \frac{1}{4}bh^2, \quad (5.12)$$

kde b a h jsou rozměry průřezu. V mém případě jsem uvažoval plastický průřezový modul W_{pl} . Pro jednotlivé typy těles jsem vycházel ze vzorců:

$$W_{pl,A} = \frac{1}{4}bh^2, \quad (5.13)$$

$$W_{pl,B} = \frac{1}{4}b(2a)^2, \quad (5.14)$$

$$W_{pl,C} = \frac{1}{4}bh^2, \quad (5.15)$$

kde a je účinný rozměr svaru.

Maximální zatížitelnost v ohybu se tedy stanovila ze vzorců:

$$F_{pl,A} = \frac{f_y bh^2}{l}, \quad (5.16)$$

$$F_{pl,B} = \frac{f_y b(2a)^2}{l-h}, \quad (5.17)$$

$$F_{pl,C} = \frac{f_y bh^2}{l-h-2z}. \quad (5.18)$$

U těles typu B nastávalo rovněž kroucení účinného průřezu svaru, ale tato problematika je poněkud složitější.

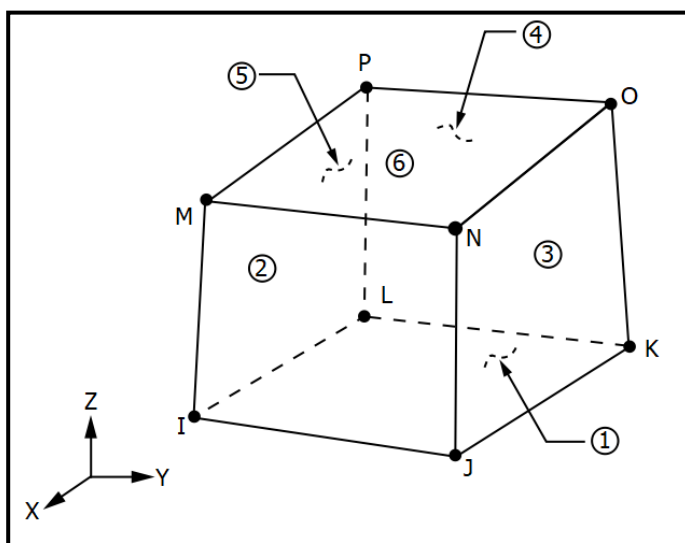
5.4 Konečné prvky

Při 3D modelování těles v programu ANSYS se používají prostorové elementy, které lze dělit na:

- lineární (např. SOLID185),
- kvadratické (např. SOLID186, SOLID187).

Pro sestavení sítě konečných prvků modelů byly nejvíce využity elementy s názvem SOLID185 (obr. 5-5). Tyto elementy na sebe navazují a zatížení se přenáší u dvou sousedních elementů z jednoho na druhý pomocí společných uzlů. Může tvarově zaujímat několik geometrií:

- šestistěn s osmi uzly (ideální případ),
- pětistěn se šesti uzly,
- čtyřstěn se čtyřmi uzly (nepříliš vhodný pro výpočty),
- pětistěn s pěti uzly (nepříliš vhodný pro výpočty).



Obr. 5-5 Element SOLID185 pro 3D modelování těles v programu ANSYS [x]

Je definován uzly I, J, K, L, M, N, O a P, z nichž každý odebírá tři stupně volnosti, konkrétně posunu ve všech třech osách (x , y , z). Tyto posuny se značí u_x , u_y a u_z . Není pro něj třeba zadávat žádné reálné konstanty. U tohoto elementu lze zadávat Youngův modul pružnosti v tahu (tlaku), Poissonův součinitel, hustotu, součinitel teplotní roztažnosti nebo mez kluzu.

6 Numerické analýzy

Pro tuto diplomovou práci jsem zpracoval numerickou analýzu, která se zabývá únosností testovaných materiálů, jak u nesvařovaných těles, tak u těch se svarovými spoji. Byly vytvořeny dvě studie, ve kterých byla testována maximální zatížitelnost modelů. Jedna studie se zabývala tahovým namáháním a druhá ohybovým. Modely byly vytvořeny podle těles z experimentů. Pro analýzy bylo využito programu ANSYS [17]. Tyto studie byly prováděny pouze pro materiál polyetylén, který se choval houževnatě.

6.1 Maximální tahová síla

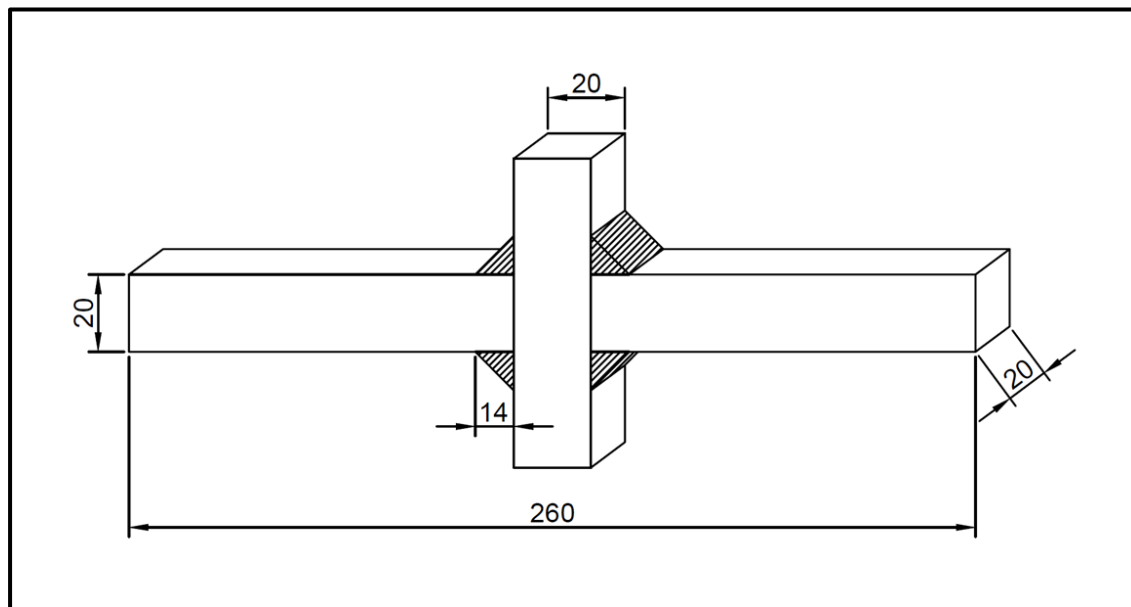
V této studii jsem testoval, jaké maximální zatížitelnosti lze při ideálně pružnoplastickém chování dosáhnout u koutových svarů (v experimentu typ B) při namáhání tahovou silou. Následně jsem tuto sílu porovnával s několika dalšími hodnotami. Jednalo se celkově o tři varianty:

- analytický výpočet:
 - tělesa bez svaru (typ A),
 - tělesa s koutovým svarem,
- numerická analýza,
- experimentální zatěžování zkušebních těles:
 - PE T B h20 b20 v0.1,
 - PE T B h20 b20 v1.0,
 - PE T B h20 b20 v10.0.

Celkově jsem testoval tři modely se stejnou geometrií, ale s různými hodnotami materiálových charakteristik, tedy Youngova modulu pružnosti E , Poissonova součinitele μ a meze kluzu f_y . Tyto hodnoty simulovaly rozdíl chování materiálu při různých zatěžovacích rychlostech.

6.1.1 Geometrie, síť konečných prvků a materiálové charakteristiky

Geometrii modelu jsem vytvořil podle zkušebních těles z experimentu o rozměrech průřezu 20 x 20 mm s oboustrannými koutovými svary (typ B).



Obr. 6-1 Schéma geometrie tělesa typu B

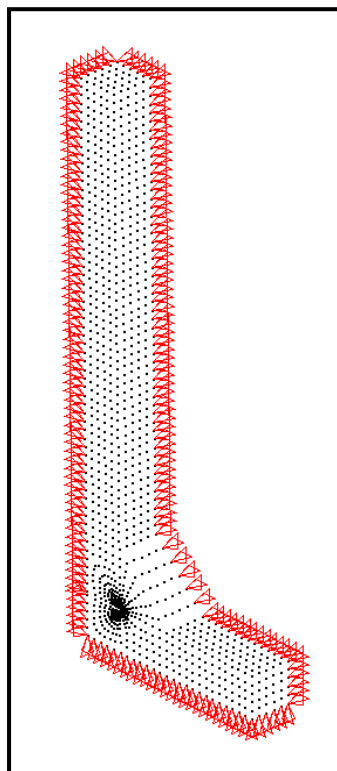
Konkrétně se jednalo o tělesa typu B (obr. 6-1):

- PP T B h20 b20 v0.1,
- PP T B h20 b20 v1.0,
- PP T B h20 b20 v10.0.

Pro lepší představu geometrie a tvaru tělesa uvádím schéma, podle kterého byl model vytvořen.

Pro modely jsem testoval různé sítě pro optimalizaci mezi přesností analýzy a tomu úměrné časové náročnosti. Jelikož byla tělesa symetrická ve všech třech směrech, vymodeloval jsem pouze jednu osminu tělesa a symetrii zajistil podepřením (obr. 6-2), tzn. každému uzlu v rovině xy bylo zabráněno posunu ve směru osy z , každému uzlu v rovině zx bylo zabráněno posunu ve směru osy y a každému uzlu v rovině yz bylo zabráněno ve směru osy x .

Pro sestavení sítě konečných prvků modelů byly využity elementy s názvem SOLID185. Celá síť modelu byla tedy pokryta těmito elementy, přičemž na sebe navazovaly jednotlivými uzly. Na obrázku 6-2 je vidět, jak byla sestavena síť s ohledem na místo svaru, kde byl z důvodu přítomnosti singularity vytvořen otvor s poloměrem



Obr. 6-2 Model síť tělesa s podepřením zajišťujícím symetrii

0,5 mm. Standartní rozměr elementu byl zvolen na 2 mm, s výjimkou prvků v oblasti svaru (místo s otvorem). Zde jsou pro každý element rozměry individuální.

Tab. 6-1 Materiálové charakteristiky použité při numerické analýze modelů

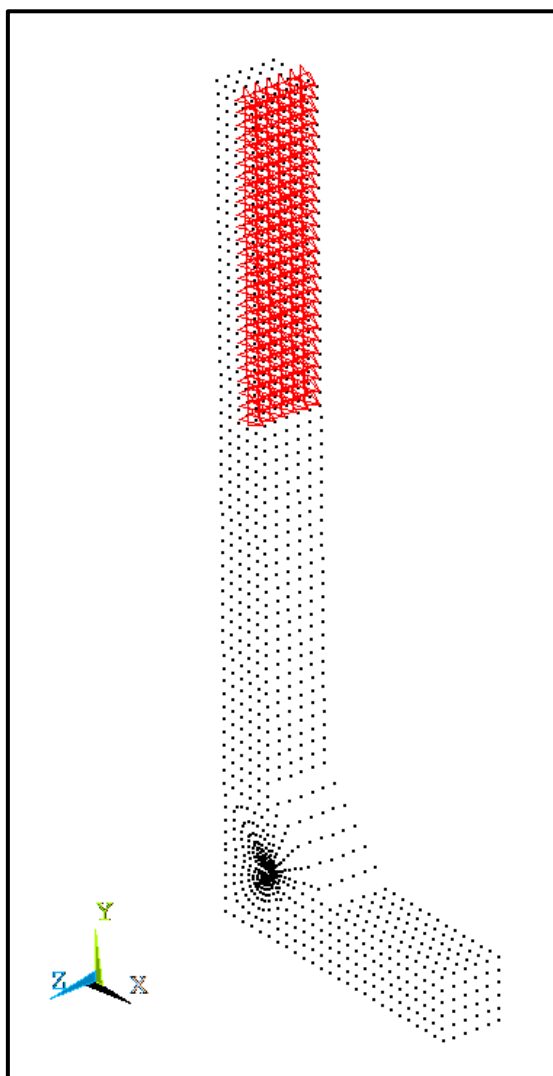
	Označení zkušebního tělesa	Modul pružnosti E [MPa]	Mez kluzu f_y [MPa]	Poissonův součinitel μ [-]
52	PE O B h20 b20 v0.1	697,828	24,658	0,38
53	PE O B h20 b20 v1.0	854,373	28,749	0,38
54	PE O B h20 b20 v10.0	1053,340	31,280	0,38

Pro materiálové charakteristiky jsem použil výsledky z experimentu, konkrétně Youngův modul pružnosti E a napětí při maximální dosažené síle σ_{\max} jsem použil jako mez kluzu f_y . Pro tyto hodnoty posloužily výsledky zatěžování nesvařovaných polyetylenových těles pro jednotlivé rychlosti zatěžování z experimentální tahové zkoušky. Pro Poissonův součinitel jsem zvolil hodnotu 0,38. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6-1.

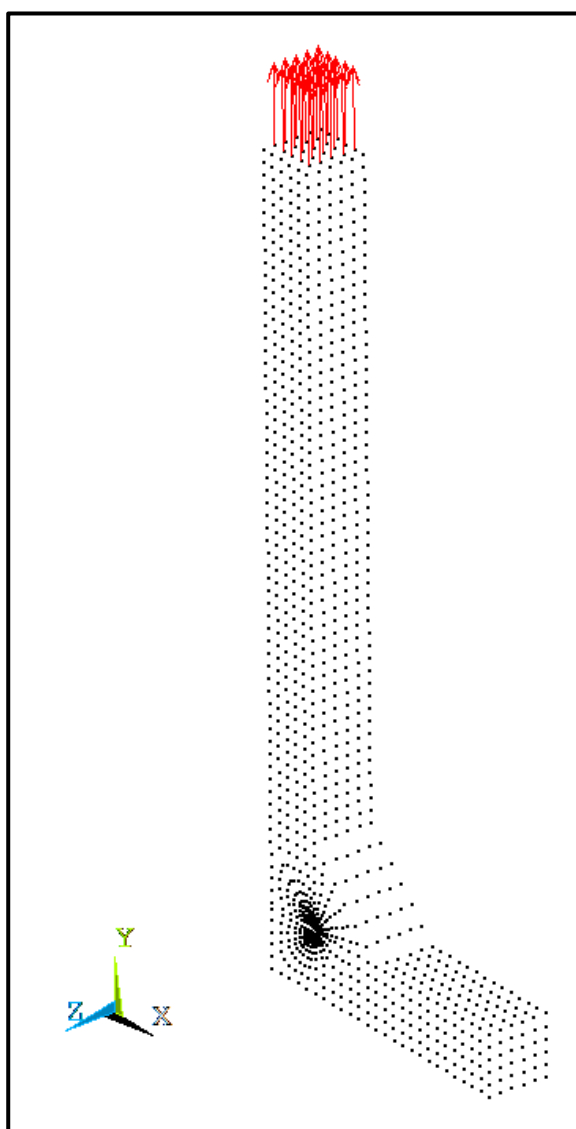
6.1.2 Okrajové podmínky

Model byl uchycen na třech plochách (každá plocha v jednom směru) pro zajištění symetrie. Kromě toho jsem modelu přiřadil podepření u horního průřezu ve směru osy x . Jednalo se o plochu 500 mm^2 , která simulovala přitlačnou sílu čelistí, jak byla vyvozována při tahové zkoušce v experimentu (obr. 6-3).

Pro co nejlepší napodobení působení síly při tahové zkoušce z experimentu byla zatěžovací síla aplikována na průřez při horní straně tělesa. Na této ploše byla síla rozpočítána do jednotlivých uzlů. Působení síly je vyobrazena na obr. 6-4.



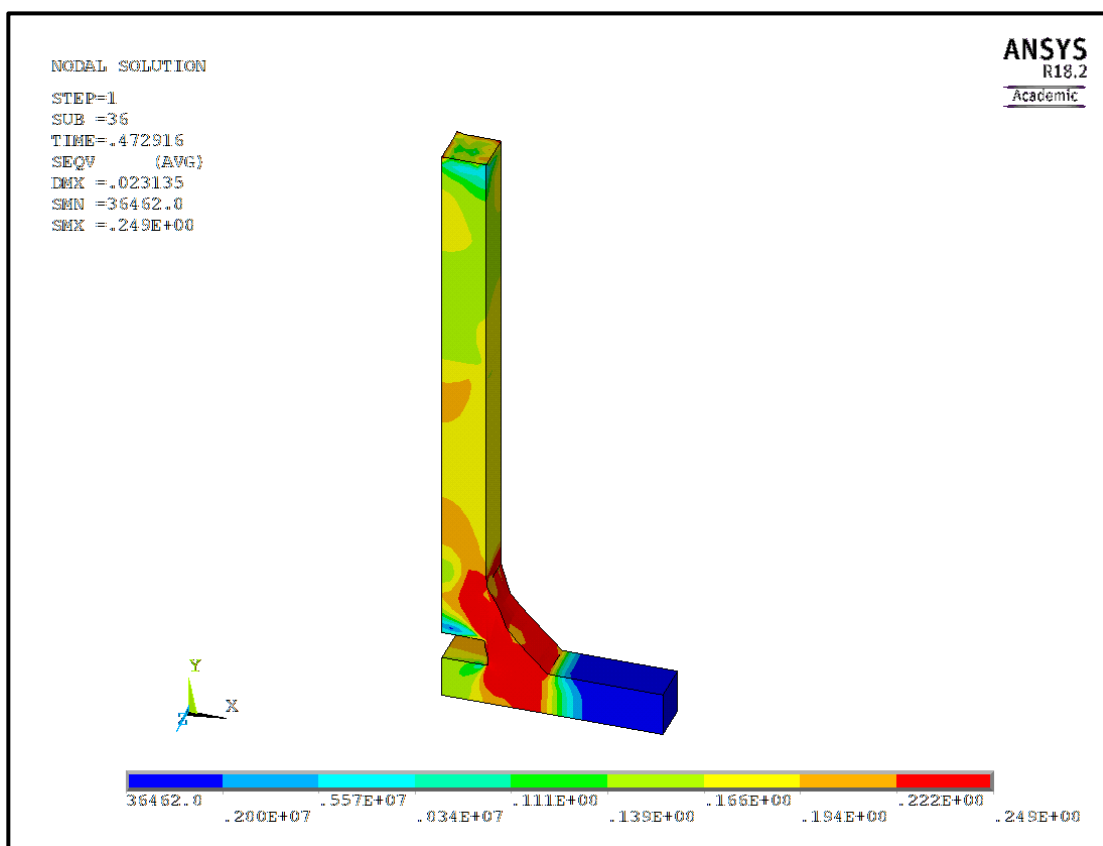
Obr. 6-3 Podepření uzlů modelu podle uchycení čelistmi z tahové zkoušky



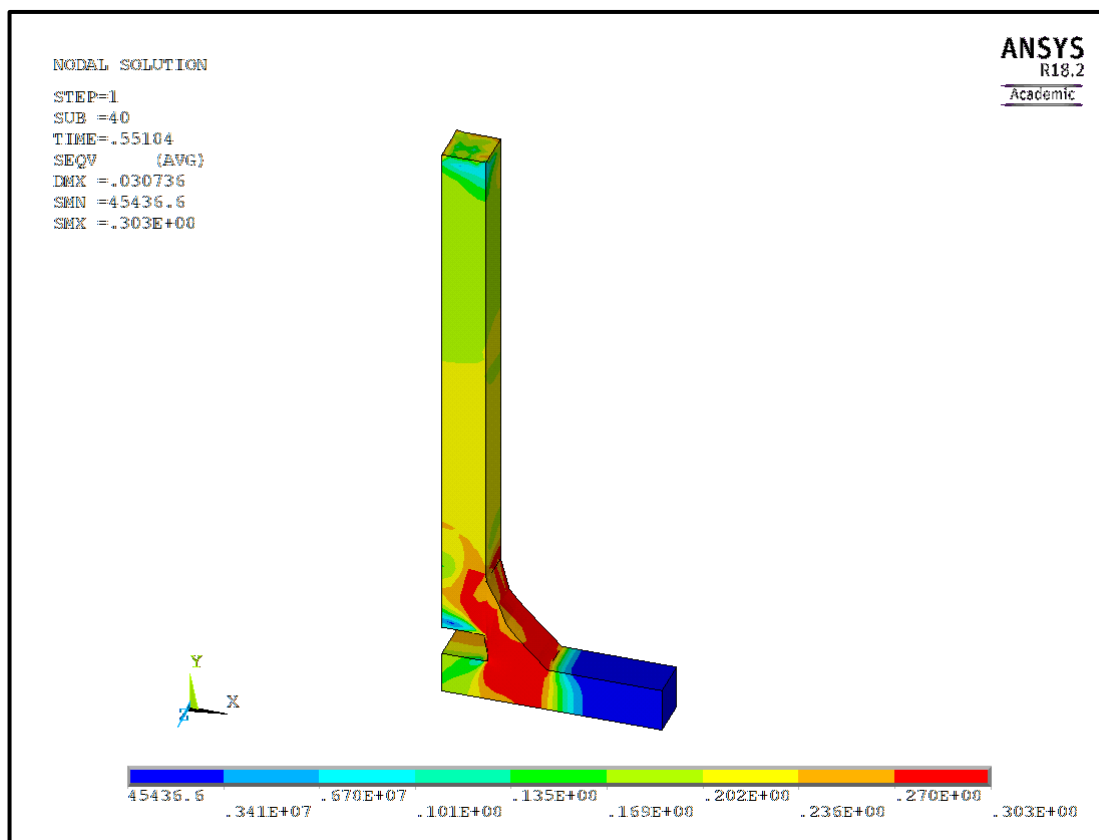
Obr. 6-4 Působení sil na vzorek pro zjištění maximální zatížitelnosti

6.1.3 Výpočet

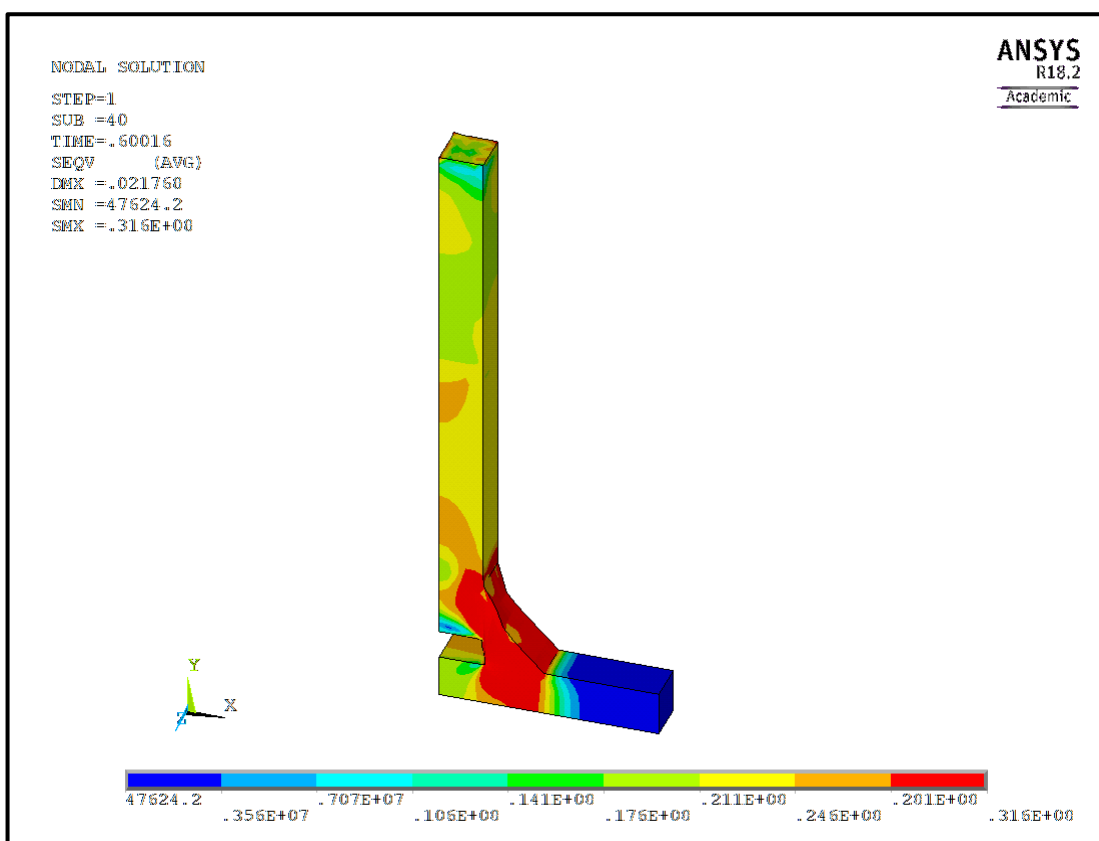
Na začátku byl model zatížen testovací silou 16 kN a při nelineárním řešení statického vyšetřování plasticity bylo sledováno, kdy výpočet zkolabuje. Zatížení bylo rozděleno na deset podkroků. A už při tomto rozdělení zatížení se dalo dostatečně určit, v jakém časovém okamžiku výpočet selhal. Podle toho jsem dostal maximální zatížitelnost modelu. Pro ukázkou uvádím von Misesova napětí na namáhaném tělese pro všechny tři rychlosti zatěžování (obr. 6-5, 6-6 a 6-7).



Obr. 6-5 Von Misesovo napětí na tělese PE T B h20 b20 v0.1



Obr. 6-6 Von Misesovo napětí na tělese PE T B h20 b20 v1.0



Obr. 6-7 Von Misesovo napětí na tělese PE T B h20 b20 v10.0

K maximální zatížitelnosti modelů z numerických analýz jsem porovnával sílu, kterou je schopen přenést průřez bez svaru (analytický výpočet), průřez s oboustrannými koutovými svary (analytický výpočet), a maximální sílu z experimentální tahové zkoušky pro polyetylénová tělesa typu B tloušťky 20 mm při různých rychlostech zatěžování (tab. 6-2).

Tab. 6-2 Hodnoty maximální zatížitelnosti tahem při ideálně pružnoplastickém chování porovnávané s teoretickým výpočtem a experimentem

	Označení zkušebního tělesa	Analytický výpočet		Maximální zatížitelnost z numerických analýz $N_{pl,ANSYS}$ [kN]	Maximální síla z experimentu pro koutový svar $F_{max,exp,tah}$ [kN]
		Zatížitelnost plného průřezu bez svaru $N_{pl,A}$ [kN]	Zatížitelnost koutových svarů $N_{pl,B}$ [kN]		
52	PE T B h20 b20 v0.1	8,263	7,811	6,066	6,739
53	PE T B h20 b20 v1.0	9,510	9,107	7,076	7,088
54	PE T B h20 b20 v10.0	9,973	9,909	7,695	7,787

Pro relevantnější srovnání jsem hodnoty pro zatížitelnost koutových svarů z analytického výpočtu ($N_{pl,A}$) a maximální zatížitelnost z numerických analýz ($N_{pl,ANSYS}$) vynásobil krátkodobým svařovacím faktorem. Z porovnání je vidět, že analytický výpočet koutových svarů není v této formě použitelný, neboť vykazuje o 15 – 27 % vyšší hodnoty než jsem naměřil při zatěžování tahem v experimentu (tedy na stranu nebezpečnou). Maximální zatížitelnost z numerických analýz vyšla o 1 – 10 % nižší než maximální zatížitelnost z experimentu (tedy na stranu bezpečnou). Numerické analýzy jsou v tomto případě tedy použitelné při posuzování na tah výrobků v praxi. Je třeba brát také v potaz, že zkušební tělesa nebyla vyrobena bezchybně a nelze tedy na výsledky z experimentu úplně spoléhat. Pro potvrzení těchto výsledků by bylo potřeba zkoušení provést pro větší škálu těles. Rozdíl mezi analytickým výpočtem a numerickými analýzami činil 12 % u všech tří variant. Dá se tedy konstatovat, že mezi těmito dvěma způsoby výpočtu nějaká závislost existuje, potažmo, že numerické analýzy nějakým upraveným postupem při výpočtech vycházejí z analytické metodiky.

6.2 Maximální ohybová síla

V této studii jsem testoval, jakou maximální sílu jsou schopny přenést při ideálně pružnoplastickém chování tělesa bez svaru (typ A), s oboustrannými svary (typ B) a tupými svary (typ C) při namáhání ohybem. Tato maximální zatížitelnost získaná z numerické analýzy byla následně porovnávána s analytickým výpočtem a naměřenými hodnotami při ohybové zkoušce v experimentu.

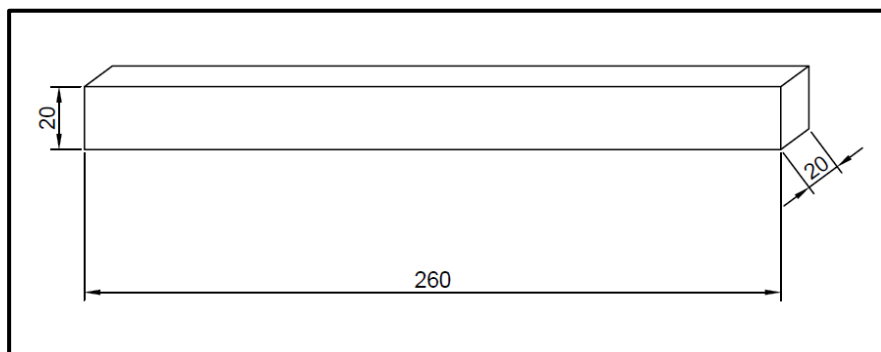
Jednalo se o třibodový ohyb, kde byla vzdálenost podpor stanovena na 200 mm podle ohybové zkoušky z experimentu. Porovnání se týkalo tří varianty:

- analytický výpočet:
 - tělesa bez svaru (typ A),
- numerická analýza,
 - tělesa bez svaru (typ A),
 - tělesa s oboustrannými koutovými svary (typ B),
 - tělesa s tupými svary (typ C),
- experimentální zatěžování zkušebních těles:
 - PE O A h20 b20 v0.1,
 - PE O A h20 b20 v1.0,
 - PE O A h20 b20 v10.0,
 - PE O B h20 b20 v0.1,
 - PE O B h20 b20 v1.0,
 - PE O B h20 b20 v10.0,
 - PE O C h20 b20 v0.1,
 - PE O C h20 b20 v1.0,
 - PE O C h20 b20 v10.0.

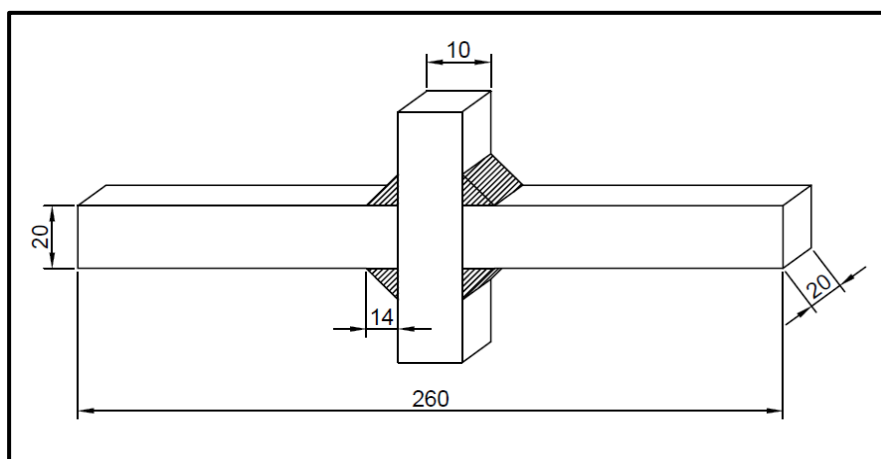
Celkově jsem testoval devět modelů (3x typ A, 3x typ B, 3x typ C) s různými hodnotami materiálových charakteristik, tedy Youngova modulu pružnosti E , Poissonova součinitele μ a meze kluzu f_y . Tyto hodnoty simulovaly rozdíl chování materiálu při různých zatěžovacích rychlostech.

6.2.1 Geometrie, síť konečných prvků a materiálové charakteristiky

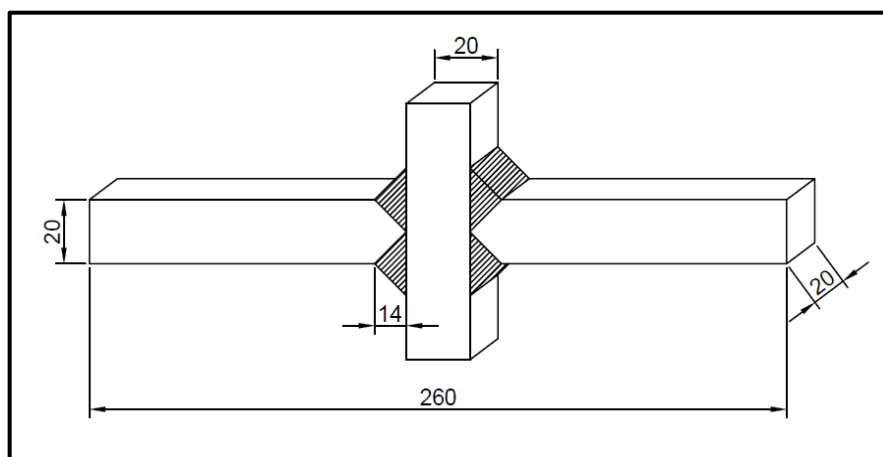
Geometrii modelů jsem vytvořil podle těles z experimentu o rozměrech průřezu 20 x 20 mm. Pro lepší představu geometrie a tvaru tělesa uvádím schémata, podle kterých byly jednotlivé modely vytvořeny (obr. 6-8, 6-9 a 6-10).



Obr. 6-8 Schéma geometrie těles PE O A h20 b20 v0.1, PE O A h20 b20 v1.0 a PE O A h20 b20 v10.0

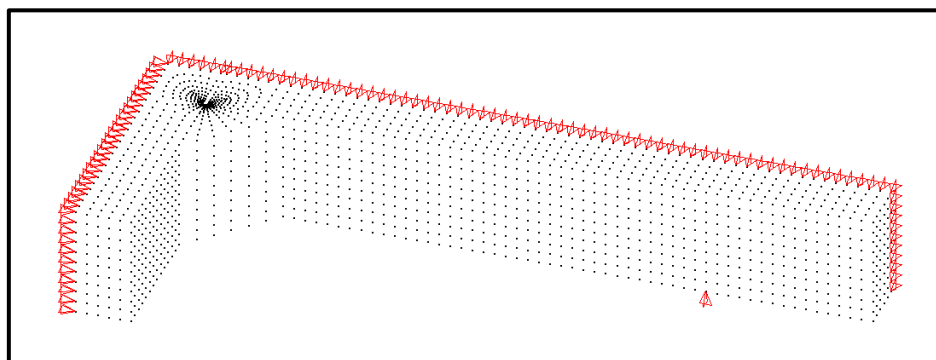


Obr. 6-9 Schéma geometrie těles PE O B h20 b20 v0.1, PE O B h20 b20 v1.0 a PE O B h20 b20 v10.0



Obr. 6-10 Schéma geometrie těles PE O C h20 b20 v0.1, PE O C h20 b20 v1.0 a PE O C h20 b20 v10.0

Pro modely jsem testoval různě členité sítě pro optimalizaci mezi přesností analýzy a tomu úměrné časové náročnosti. Jelikož byla tělesa symetrická ve dvou směrech, vymodeloval jsem pouze jednu čtvrtinu tělesa a symetrii zajistil podepřením, tzn. každému uzlu v rovině xy bylo zabráněno posunu ve směru osy z a každému uzlu v rovině yz bylo zabráněno ve směru osy x (obr. 6-11).



Obr. 6-11 Model sítě tělesa (PE O B h20 b20 v0.1) s podepřením zajišťujícím symetrii

Pro sestavení sítě konečných prvků modelů byly využity elementy s názvem SOLID185. Celá síť modelu byla tedy pokryta těmito elementy, přičemž na sebe navazovaly jednotlivými uzly. Na obrázku 6-11 je vidět, jak byla sestavena síť, u typu B s ohledem na místo svaru, kde byl z důvodu přítomnosti singularity vytvořen otvor s poloměrem 0,5 mm. Standartní rozměr elementu byl zvolen na 2 mm, s výjimkou prvků v oblasti svaru (místo s otvorem). Zde jsou pro každý element rozměry individuální. U modelu typu A byla síť po celé délce stejná jako na pravé straně u typu B. U modelu typu C byly elementy sítě vytvořeny podobně s ohledem na geometrii.

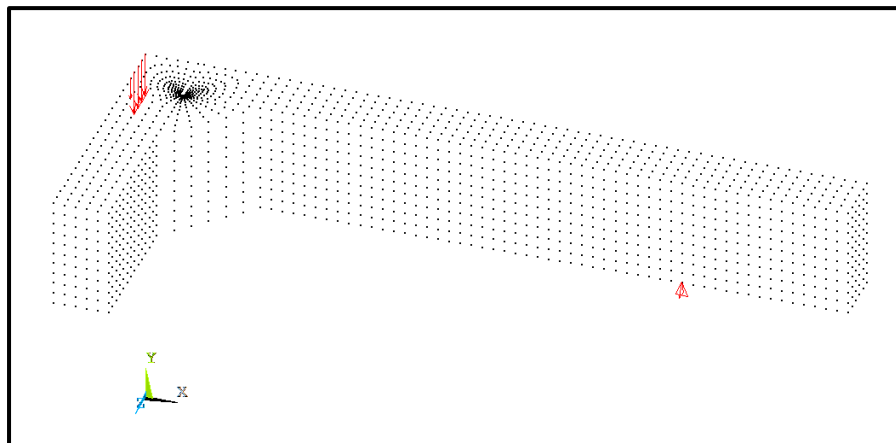
Pro materiálové charakteristiky jsem použil výsledky z experimentu, konkrétně Youngův modul pružnosti E a napětí při maximální přenesené síle σ_{\max} jsem použil jako mez kluzu f_y . Pro tyto hodnoty posloužily výsledky zatěžování nesvařovaných polyetylenových těles pro jednotlivé rychlosti zatěžování z experimentální tahové zkoušky. Pro Poissonův součinitel jsem zvolil hodnotu 0,38. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6-3.

Tab. 6-3 Materiálové charakteristiky použité při numerické analýze

	Označení zkušebního tělesa	Modul pružnosti E [MPa]	Mez kluzu f_y [MPa]	Poissonův součinitel μ [-]
112	PE O A h20 b20 v0.1	697,828	24,658	0,38
121	PE O B h20 b20 v0.1	854,373	28,749	0,38
133	PE O C h20 b20 v0.1	1053,340	31,280	0,38
113	PE O A h20 b20 v1.0	697,828	24,658	0,38
122	PE O B h20 b20 v1.0	854,373	28,749	0,38
134	PE O C h20 b20 v1.0	1053,340	31,280	0,38
114	PE O A h20 b20 v10.0	697,828	24,658	0,38
123	PE O B h20 b20 v10.0	854,373	28,749	0,38
135	PE O C h20 b20 v10.0	1053,340	31,280	0,38

6.2.2 Okrajové podmínky

Model byl uchycen na dvou plochách (ve směru osy x a osy z) pro zajištění symetrie. Kromě toho jsem u modelu použil podepření ve vzdálenosti 100 mm ve směru osy x od roviny symetrie yz (rozpětí podpor u ohybové zkoušky bylo 200 mm).

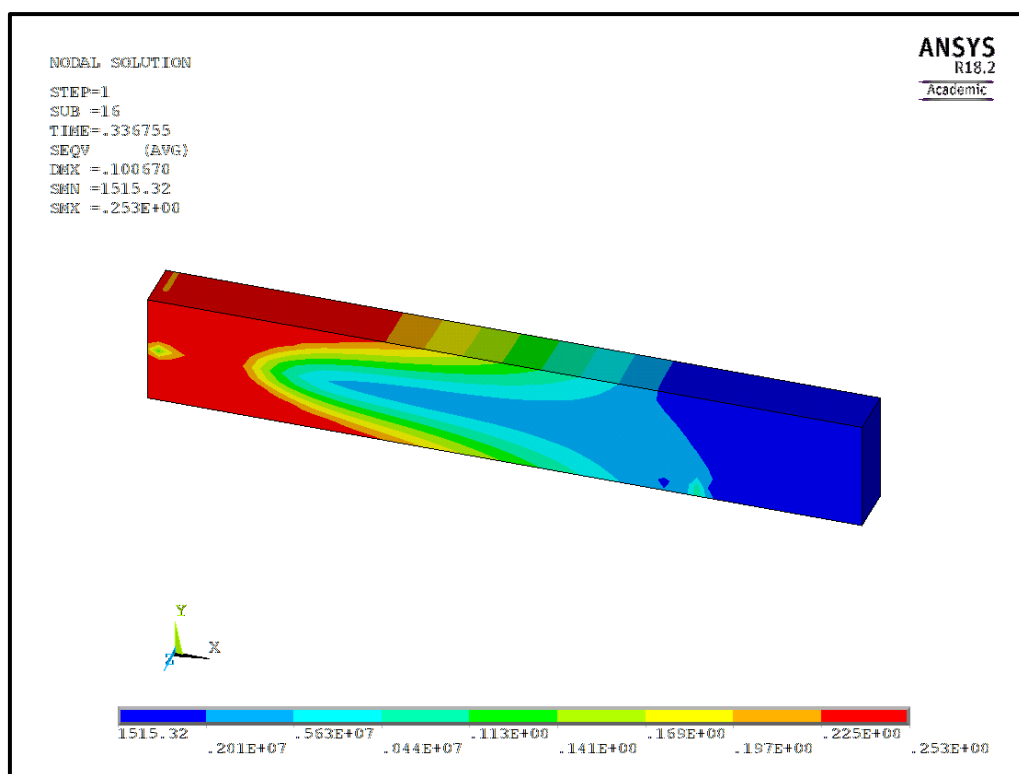


Obr. 6-12 Působení sil na vzorek pro zjištění maximální zatížitelnosti

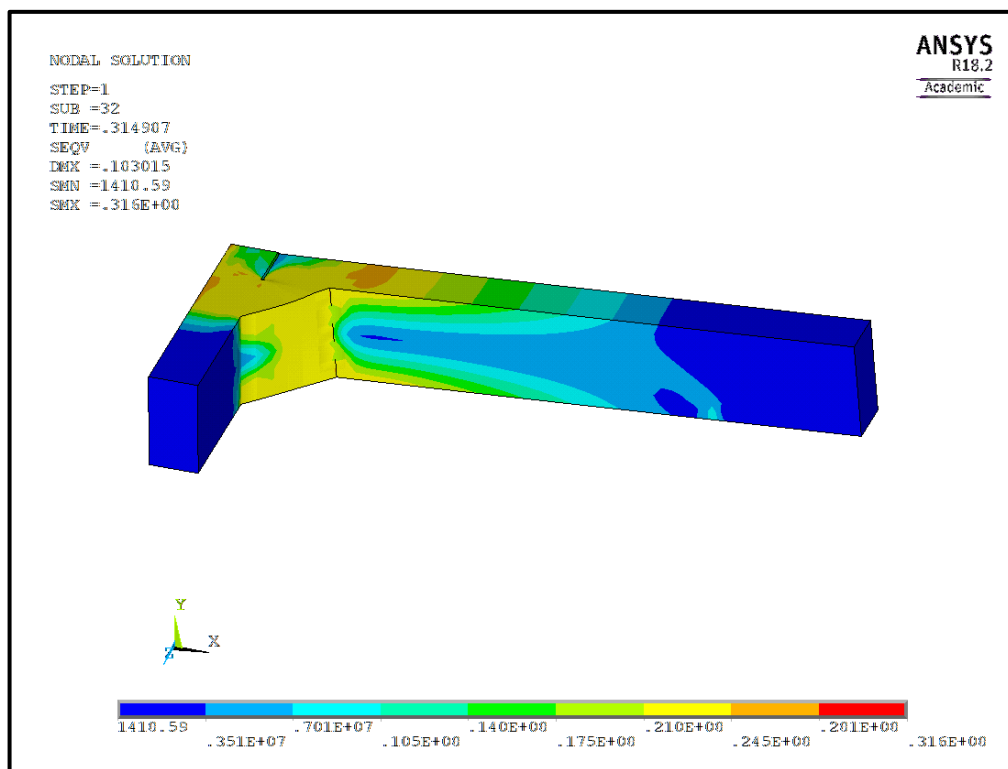
Pro co nejlepší napodobení působení síly při ohybové zkoušce z experimentu byla zatěžovací síla aplikována na hranu symetrie. Na této linii byla síla rozpočítána do jednotlivých uzlů. Pro dobré porovnání s nesvařovanými tělesy byla síla zadávána pouze v šířce 20 mm. Působení síly je vyobrazena na obr. 6-12.

6.2.3 Výpočet

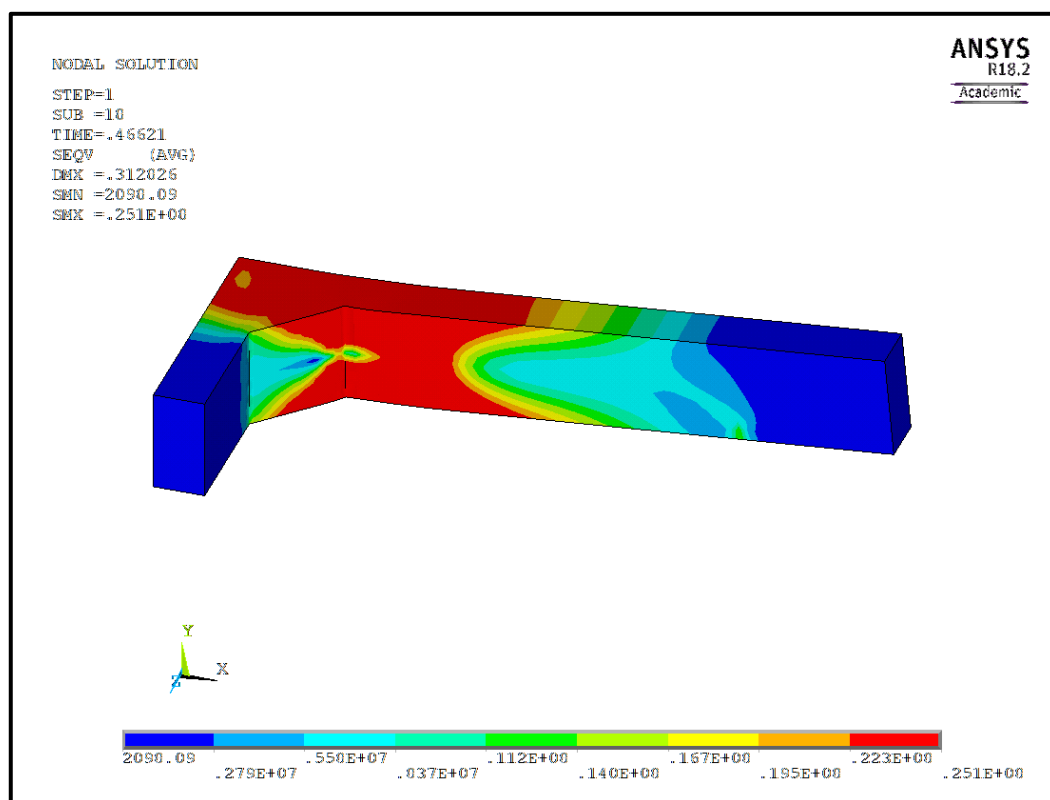
Na začátku byl model zatížen testovací silou 3,2 kN a při nelineárním řešení statického vyšetřování plasticity bylo sledováno, kdy výpočet zkolabuje. Zatížení bylo rozděleno na deset podkroků. A už při tomto rozdělení zatížení se dalo dostatečně určit, v jakém časovém okamžiku výpočet selhal. Podle toho jsem dostal maximální zatížitelnost modelu. Pro ukázkou uvádím von Misesova napětí na namáhaném tělese pro všechny tři typy těles při rychlosti zatěžování 0,1 mm/s (obr. 6-13, 6-14 a 6-15).



Obr. 6-13 Von Misesovo napětí na zkušebním tělese PE O A h20 b20 v0.1



Obr. 6-14 Von Misesovo napětí na zkušebním tělese PE O B h20 b20 v0.1



Obr. 6-15 Von Misesovo napětí na zkušebním tělese PE O C h20 b20 v0.1

U této studie jsem porovnával zatížitelnost z analytického výpočtu (podle kapitoly 5.3) s maximální zatížitelností z numerické analýzy pro všechny tři typy těles při všech třech zatěžovacích rychlostech. Do srovnání jsem také zařadil výsledky maximální dosažené síly z experimentální ohybové zkoušky pro všechny tři typy zkušebních těles o tloušťce 20 mm při všech třech zatěžovacích rychlostech (tab. 6-4).

Pro relevantnější srovnání jsem hodnoty pro zatížitelnost koutových svarů ($F_{pl,B}$) a tupých svarů ($F_{pl,C}$) z analytického výpočtu a maximální zatížitelnost numerických analýz ($F_{pl,ANSYS}$) vynásobil krátkodobým svařovacím faktorem. Z porovnání je vidět, že analytický výpočet vykazuje v některých případech nižší a v jiných vyšší hodnoty než jsem naměřil při zatěžování tříbodovým ohybem v experimentu. Maximální zatížitelnost z numerických analýz také vychází v některých případech na stranu bezpečnou v některých případech na stranu nebezpečnou. Pro možnost použití metodiky podle numerických analýz by bylo nutné prošetřit podrobněji použité modely. Je třeba brát také v potaz, že zkušební tělesa nebyla vyrobena bezchybně a nelze tedy na výsledky z experimentu úplně spoléhat. Pro potvrzení těchto výsledků by bylo potřeba zkoušení provést pro větší škálu těles. Analytickým výpočtem jsem získal u těles s oboustrannými koutovými svary přesně o 6,2 % vyšší hodnoty než numerickými

Tab. 6-4 Hodnoty maximální zatížitelnosti ohybovou silou při ideálně pružnoplastickém chování porovnávané s teoretickým výpočtem a experimentem pro všechny rychlosti zatěžování a všechny typy polyetylénových těles o průřezu 20 x 20 mm

	Označení zkušebního tělesa	Analytický výpočet – maximální zatížitelnost			Maximální zatížitelnost z numerických analýz $F_{pl,ANSYS}$ [kN]	Maximální síla z experimentu $F_{max,exp,ohyb}$ [kN]
		$F_{pl,A}$ [kN]	$F_{pl,B}$ [kN]	$F_{pl,C}$ [kN]		
112	PE O A h20 b20 v0.1	0,986			0,865	0,829
121	PE O B h20 b20 v0.1		0,859		0,809	0,904
133	PE O C h20 b20 v0.1			1,038	1,196	1,089
113	PE O A h20 b20 v1.0	1,150			1,009	1,036
122	PE O B h20 b20 v1.0		1,002		0,943	1,021
134	PE O C h20 b20 v1.0			1,210	1,395	1,388
114	PE O A h20 b20 v10.0	1,251			1,096	1,124
123	PE O B h20 b20 v10.0		1,090		1,027	0,875
135	PE O C h20 b20 v10.0			1,317	1,517	1,603

analýzami pro všechny testované zatěžovací rychlosti. U těles bez svarů to byly o 12,3 % menší hodnoty a u těles s tupými svary o 13,2 % menší hodnoty. Je tedy jasné, že závislost mezi numerickými analýzami a analytickým výpočtem nějaká existuje a dá se do jisté míry říci, že numerické analýzy využívají ve výpočtu s určitou obměnou metodiku analytického výpočtu.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posoudit vybrané svarové spoje z termoplastů. Pro toto posouzení jsem prováděl experimenty tahem a tříbodovým ohybem v laboratoři, konkrétně jsem zatěžoval zkušební tělesa bez svarů, tělesa s křížovými spoji s oboustrannými koutovými a tupými svary.

U tahové zkoušky lze při porovnání jednotlivých výsledků vyvodit, že rychlost zatěžování má na únosnost a tuhost termoplastových těles zásadní vliv. Čím větší je rychlost zatěžování, tím vyšší je únosnost i tuhost materiálu. Zkušební tělesa bez svaru měla očekávaně nejvyšší únosnost i tuhost, ale tělesa s tupými svary se těmito hodnotám značně blížily. Tělesa s oboustrannými koutovými svary měla výrazně nižší únosnost. Únosnost těles závisela na tloušce pouze u těles s oboustrannými koutovými svary.

U boční ohybové zkoušky byly výsledky podstatně nepřesnější. Závislost na rychlosti zatěžování se zde projevila především u nesvařovaných těles. U těles se svary jsem žádnou závislost na rychlosti zatěžování nepozoroval. Zkušební tělesa se svary ve srovnání s tělesy bez svarů vykazovala vyšší únosnost i tuhost. Zkušební tělesa s tupými svary byly únosnější než zkušební tělesa s koutovými svary. Celkově se dá říci, že na ohybovou zkoušku měly nepřesnosti z výroby mnohem větší vliv než u tahové zkoušky.

Polypropylénová zkušební tělesa se chovala převážně křehce, polyetylénová zkušební tělesa vykazovala většinou houževnaté chování. Pro přesnější výsledky by bylo třeba provést experiment v mnohem větším měřítku, zejména vyzkoušet více zatěžovacích rychlostí a jednotlivé rychlosti rovněž vyzkoušet na více tělesech.

V numerických analýzách jsem zpracoval dvě studie na maximální zatížitelnost modelů při ideálně pružnoplastickém chování polyetylénu, jednalo se o tah a tříbodový ohyb. Vyšetřované modely tvarově i materiálově odpovídaly zkušebním tělesům z experimentů. Nejprve jsem otestoval několik sítí konečných prvků pro nalezení ideálního poměru mezi časovou náročností řešení a přesností výpočtu.

Maximální zatížitelnost v tahu jsem testoval na tělesech s oboustrannými koutovými svary a porovnával ji s maximálními přenesenými silami v průběhu experimentu a rovněž s hodnotami z analytického výpočtu. Ukázalo se, že analytický výpočet koutových svarů vykazuje vyšší hodnoty než experimentální vyhodnocení.

Hodnoty z analytického výpočtu byly také vyšší než hodnoty z numerických analýz, ale zde byla vidět jistá závislost. Na základě této závislosti se dá předpokládat, že numerické analýzy nějakým způsobem při výpočtu vycházejí z analytického přístupu. Maximální zatíženost z numerických analýz byla nižší než maximální přenesená síla v experimentu, lze tedy konstatovat, by se metoda numerických analýz při vyšetřování tohoto typu svarů dala použít.

Pro analýzu třibodového ohybu jsem postupoval obdobně, pouze s jinými okrajovými podmínkami. Při porovnání se zatěžováním třibodovým ohybem v experimentu vykazuje analytický výpočet u všech typů těles a rychlostí zatěžování různé hodnoty. Maximální zatížitelnost z numerických analýz vyšla rovněž u každého typu jinak než maximální přenesená síla při ohybovém namáhání v experimentu. Pro jednotlivé typy těles byly rozdíly mezi analytickým výpočtem a numerickými analýzami stejné nehlédě na zatěžovací rychlost. Opět se tedy na základě těchto výsledků dá konstatovat, že závislost mezi analytickým výpočtem a numerickými analýzami nějaká existuje, a že numerické analýzy využívají ve výpočtu metodiku analytického přístupu.

V těchto studiích byl uvažován polyetylén, který se chová houževnatě. Je tedy vhodné při jeho analyzování použít přístup ideálně pružnoplastického chování. Pro další výsledky a porovnání by bylo vhodné zkusit i jiné materiálové modely.

8 Literatura

- [1] Ausperger, A. *Technologie zpracování plastů*. Publi.cz, Svitavy: 2016.
- [2] Crawford, R. J. *Plastics Engineering*. Elsevier, Oxford: 1998.
- [3] Ducháček, V. *Polymery – Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. VŠCHT, Praha: 1995.
- [4] DVS *Deutscher verband für schweissen und verwandte verfahren e. v.*, 1975-2002.
- [5] Gratza, R. *Analýza únosnosti konstrukcí a prvků z termoplastů*. Disertační práce, FAST VUT v Brně, Brno: 2007.
- [6] Hobbacher, A. *Recommendations for fatigue design of welded joints and components*. International Institute of Welding, Paris: 2007.
- [7] Kolektiv autorů *Plasty pro rozvod médií a svařované konstrukce*. GAS s.r.o., Praha: 2001.
- [8] Kolouch, J. *Strojní součásti z plastů*. SNTL, Praha: 1981.
- [9] Krebs, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Technická univerzita, Liberec: 2001.
- [10] Loyda, M., Šponer, V., Ondráček, L. a kol. *Svařování termoplastů*. UNO Praha spol. s r. o., Praha: 2001.
- [11] Mleziva, J., Šňupárek, J. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití* 2. vydání. Sobotáles, Praha: 2000.
- [12] Pilkey, W. D., Pilkey, D. F. *Peterson's stress concentration factors*. John Wiley & Sons, New Jersey: 2008.
- [13] Procházka, M. *Analýza ztráty stability termoplastových trubek*. Bakalářská práce, FAST VUT v Brně, Brno: 2016.
- [14] Šmírák, S. *Pružnost a plasticita I*. CERM, FAST VUT v Brně, Brno: 1999.

- [15] Šmírák, S., Hlavinková, B. *Pružnost a plasticita I, Příklady*. CERM, FAST VUT v Brně, Brno: 2000.
- [16] Šuba, O. *Dimenzování a navrhování výrobků z plastů*. VUT, Brno: 1988.
- [17] Theory Reference – ANSYS, release 18.2.

Normy, směrnice a internetové stránky

- [18] ČSN 05 0120 *Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí – Část 5: Svařování, pájení, řezání kovů a plastů*, 1972.
- [19] ČSN EN 12 814-1 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 1: Zkouška ohybem*, 2001.
- [20] ČSN EN 12 814-2 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 2: Zkouška tahem*, 2001.
- [21] ČSN EN 12 814-3 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 3: Kríp při dlouhodobém namáhání v tahu*, 2014.
- [22] ČSN EN 12 814-4 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 4: Odlupovací zkouška*, 2003.
- [23] ČSN EN 12 814-5 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 5: Makroskopická zkouška*, 2009.
- [24] ČSN EN 12 814-6 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 6: zkouška tahem při nízkých teplotách*, 2008.
- [25] ČSN EN 12 814-7 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 7: Zkouška v tahu na zkušebních tělískách s vrubem*, 2003.
- [26] ČSN EN 12 814-8 *Zkoušení svarových spojů polotovarů z termoplastů - Část 8: Požadavky*, 2003.
- [27] ČSN EN 12 943 *Přídavné svařovací materiály pro termoplasty – Oblast použití označování, požadavky, zkoušení*, 2003.

- [28] ČSN EN 13 705 Svařování termoplastů – Stroje a zařízení pro svařování horkým plynem (včetně svařování extruderem), 2005.
- [29] ČSN EN 14728 *Vady svarových spojů termoplastů – Klasifikace*, 2006.
- [30] ČSN EN 1778 *Charakteristické hodnoty pro svařované konstrukce z termoplastů – Stanovení dovoleného namáhání a modulů pro navrhování svařovaných dílů z termoplastů*, 2002.
- [31] ČSN EN 1993-1-8 *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*, 2013.
- [32] ČSN EN 1993-1-9 *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava*, 2006.
- [33] ČSN EN ISO 179-2 *Plasty – Stanovení rázové houževnatosti Charpy – Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*, 2000.
- [34] ČSN EN ISO 527-1 *Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 1: Základní principy*, 1997.
- [35] ČSN EN ISO 527-2 *Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*, 1998.
- [36] ČSN EN ISO 527-3 *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 3: Zkušební podmínky pro fólie a desky*, 1997.
- [37] ČSN EN ISO 899-1 *Plasty - Stanovení krípkového chování - Část 1: Kríp v tahu*, 1998.
- [38] ČSN EN ISO 899-2 *Plasty - Stanovení krípkového chování - Část 2: Kríp v ohybu při tříbodovém zatížení*, 2004.
- [39] ČSN EN ISO 1183-1 *Plasty - Metody stanovení hustoty nelehčených plastů - Část 1: Imerzní metoda, metoda s kapalinovým pyknometrem a titrační metoda*, 2013.
- [40] DVS 2207 *Welding of thermoplastics*, 2008.
- [41] www.opi.zcu.cz
- [42] www.ksp.tul.cz

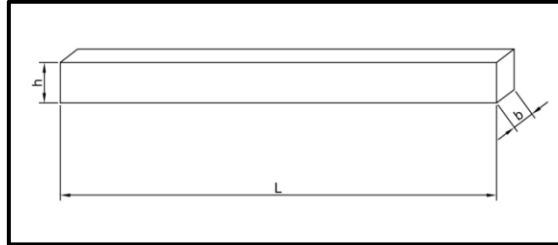
9 Seznam symbolů

<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Popis</u>
a	[m]	účinný rozměr svaru
A	[m ²]	průřez, plocha, účinná plocha
A_S	[m ²]	plocha svaru
b	[m]	šířka tělesa
E	[Pa]	modul pružnosti
E_{creep}	[Pa]	modul tečení
f_y	[N]	mez kluzu
f_d	[-]	dlouhodobý svařovací faktor
f_k	[-]	krátkodobý svařovací faktor
F	[N]	síla, zatížení
F_{pl}	[N]	maximální zatížitelnost v ohybu
F_{max}	[N]	maximální síla
h	[m]	tloušťka tělesa
H	[m]	posun příčnicku
i	[m]	poloměr setrvačnosti
I	[m ⁴]	moment setrvačnosti
I_y	[m ⁴]	moment setrvačnosti k ose y
l	[m]	délka tělesa
l_0	[m]	počáteční délka tělesa
l_x	[m]	délka uložení
Δl	[m]	změna délky
Δl_t	[m]	změna délky v čase t
$N_{\text{pl,A}}$	[N]	maximální zatížitelnost průřezu v tahu
$N_{\text{pl,B}}$	[N]	maximální zatížitelnost svarů tahu
$N_{\text{pl,ANSYS}}$	[N]	maximální zatížitelnost z numerických analýz

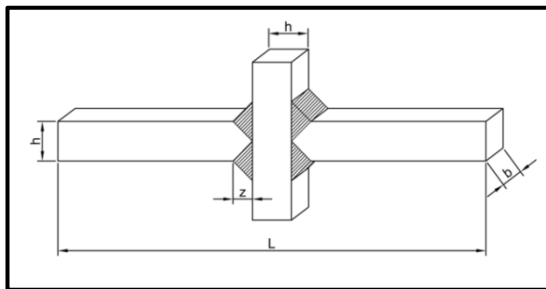
r	[m]	poloměr
t	[s]	čas
t_{\max}	[s]	čas při maximální síle
u	[m]	posun
u_{\max}	[m]	posun při maximální síle
v	[mm/s]	rychlost zatěžování
z	[m]	rozměr svaru podél stěny
α	[°]	ohybový úhel
ε	[-]	poměrné prodloužení, deformace
ε_{el}	[-]	elastická deformace
ε_{pl}	[-]	plastická deformace
$\varepsilon_{\text{creep}}$	[-]	kríková deformace
μ	[-]	Poissonův součinitel
π	[-]	konstanta
ρ	[kgm ⁻³]	hustota
σ	[Pa]	napětí
σ_{cr}	[Pa]	kritické napětí
σ_{\max}	[Pa]	napětí při maximální síle

10 Přílohy

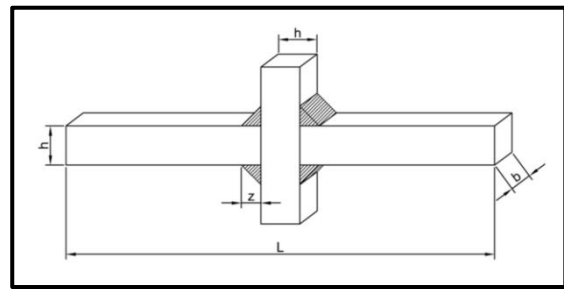
V této části uvádím protokoly pro jednotlivá zkušební tělesa (obr. 10-1, 10-2 a 10-3) a jejich hodnoty naměřené v experimentální části.



Obr. 10-1 Schéma tělesa (typ A)



Obr. 10-2 Schéma tělesa (typ B)



Obr. 10-3 Schéma tělesa (typ C)

Sada těles pro tahovou zkoušku:

- typ A:
 - PP (zkušební tělesa č. 1-12),
 - PE (zkušební tělesa č. 37-45),
- typ B:
 - PP (zkušební tělesa č. 13-24),
 - PE (zkušební tělesa č. 46-57),
- typ C:
 - PP (zkušební tělesa č. 25-36),
 - PE (zkušební tělesa č. 58-69).

Sada těles pro ohybovou zkoušku:

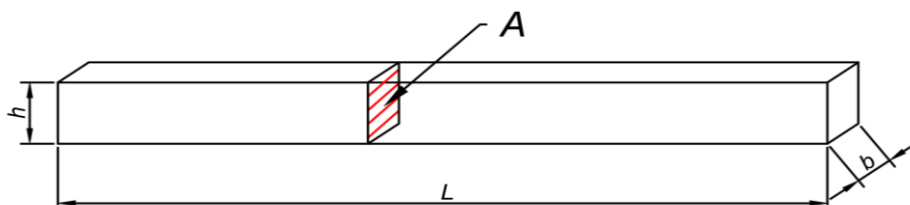
- typ A:
 - PP (zkušební tělesa č. 70-81),
 - PE (zkušební tělesa č. 106-114),
- typ B:
 - PP (zkušební tělesa č. 82-93),
 - PE (zkušební tělesa č. 115-126),
- typ C:
 - PP (zkušební tělesa č. 94-105),
 - PE (zkušební tělesa č. 127-138).

Zkušební těleso č. 1

PP T A h10 b20 v0.1

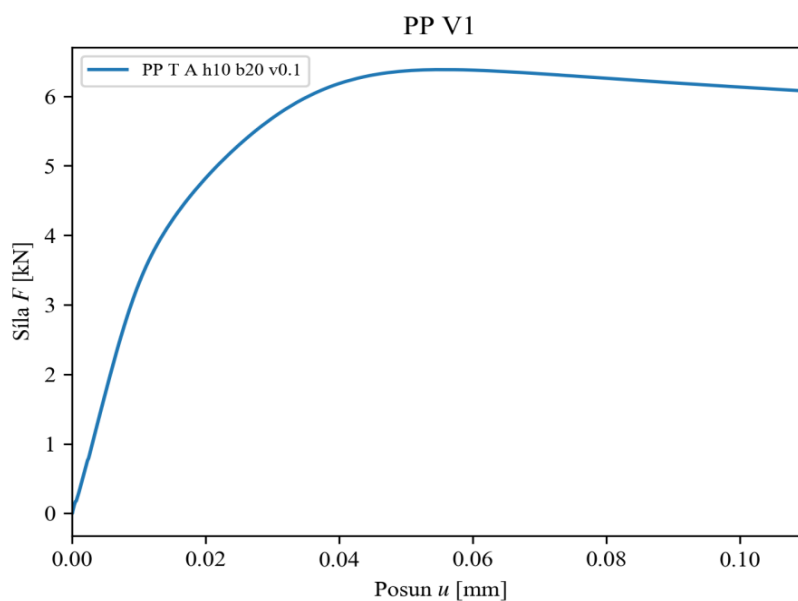
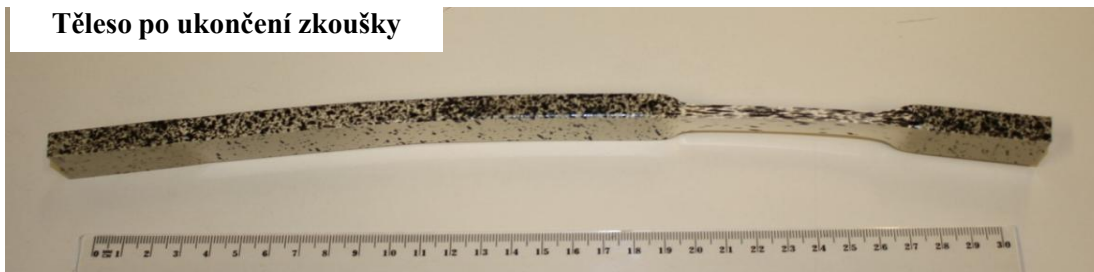
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	9,62	20,53	6,95	197,42

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	6,384	110,92	10,69

Těleso po ukončení zkoušky

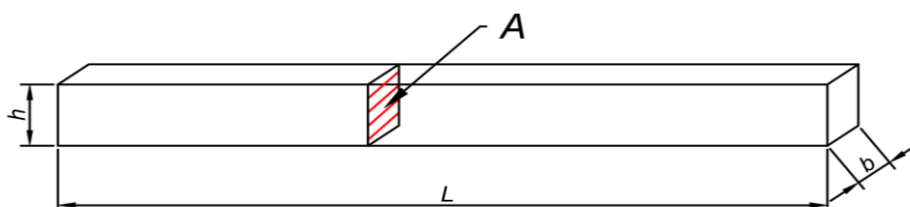


Zkušební těleso č. 2

PP T A h10 b20 v1.0

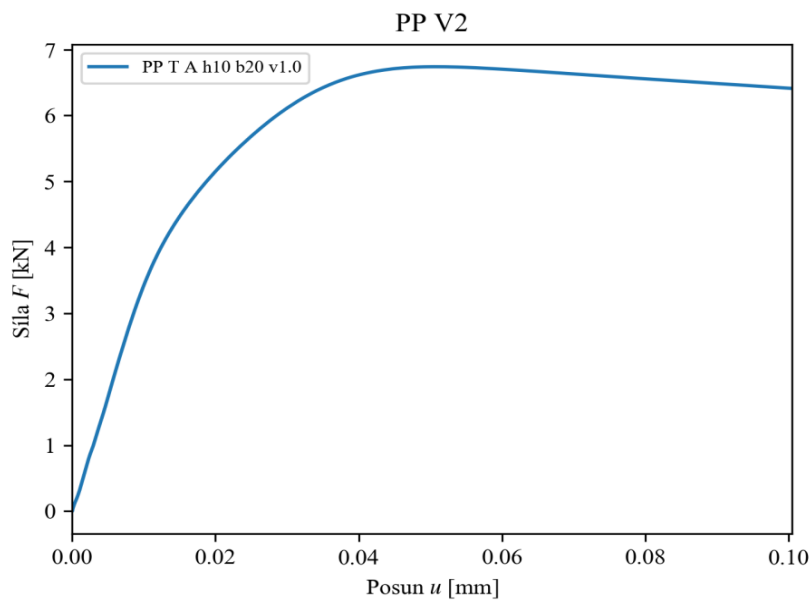
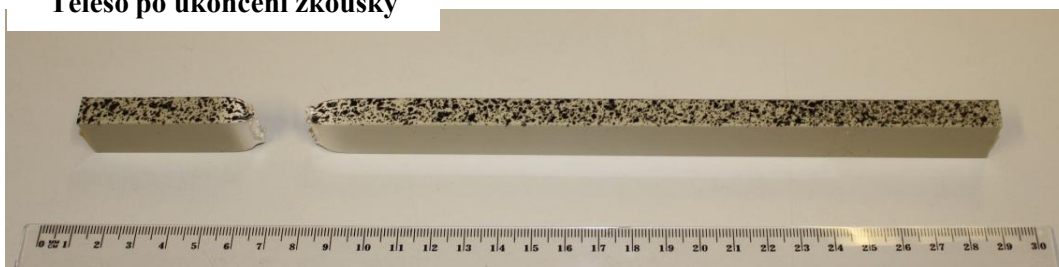
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	9,67	20,44	6,91	197,65

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	6,740	10,83	9,71

Těleso po ukončení zkoušky

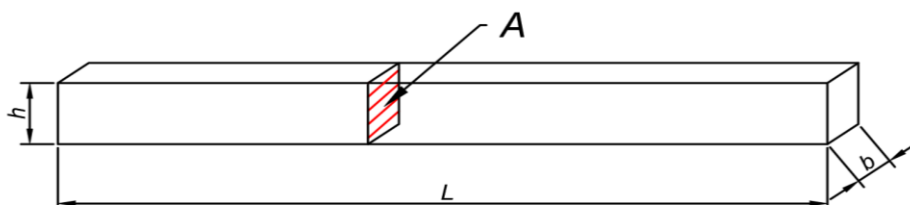


Zkušební těleso č. 3

PP T A h10 b20 v10.0

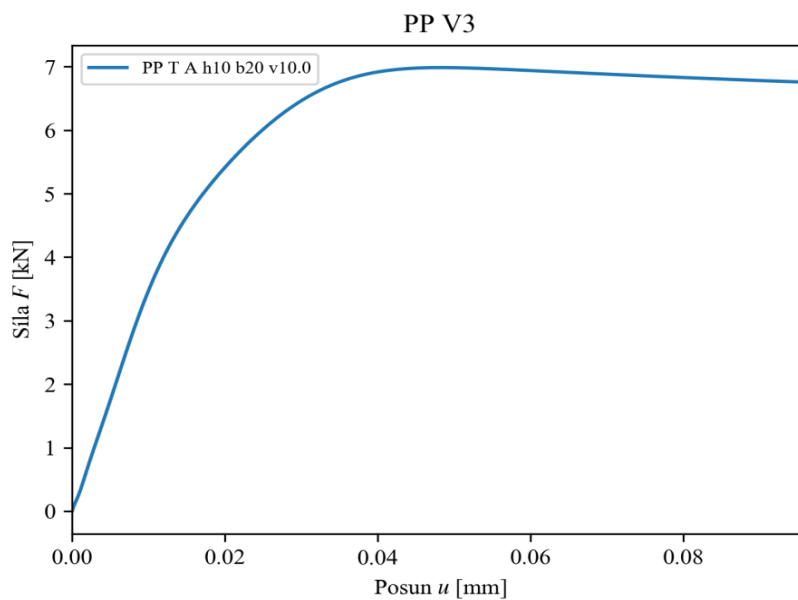
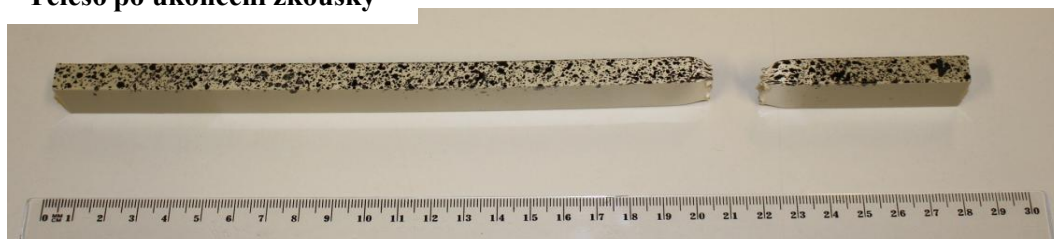
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	9,65	19,71	7,02	190,12

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	6,985	1,76	9,28

Těleso po ukončení zkoušky

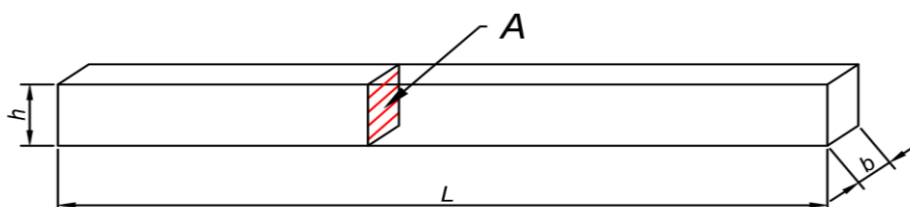


Zkušební těleso č. 4

PP T A h15 b20 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	14,66	20,41	10,44	299,19

Schéma tělesa:

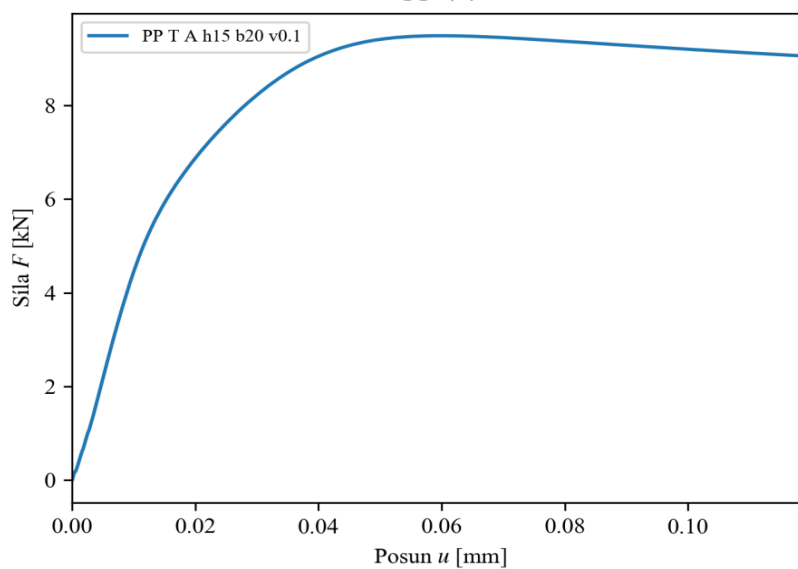


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	9,493	120,22	11,51

Těleso po ukončení zkoušky



PP V4

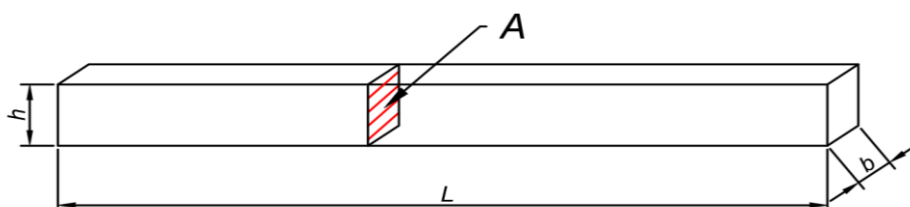


Zkušební těleso č. 5

PP T A h15 b20 v1.0

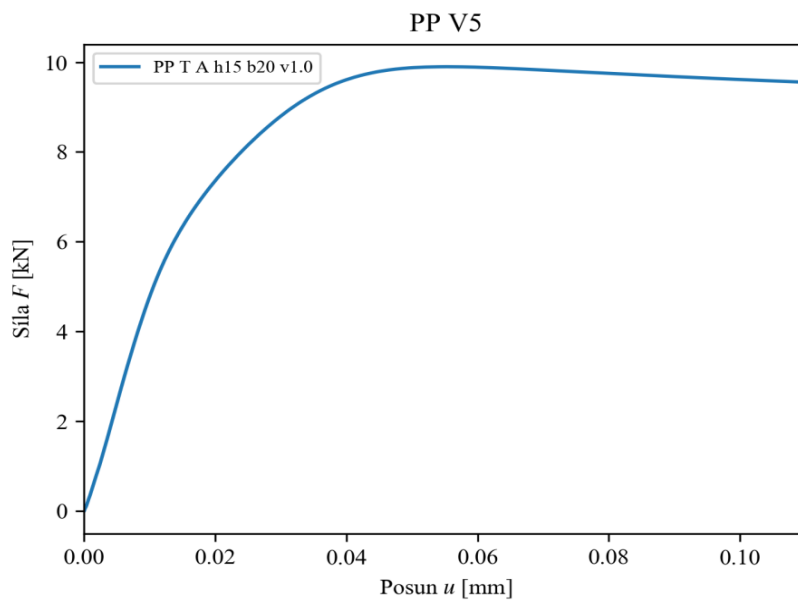
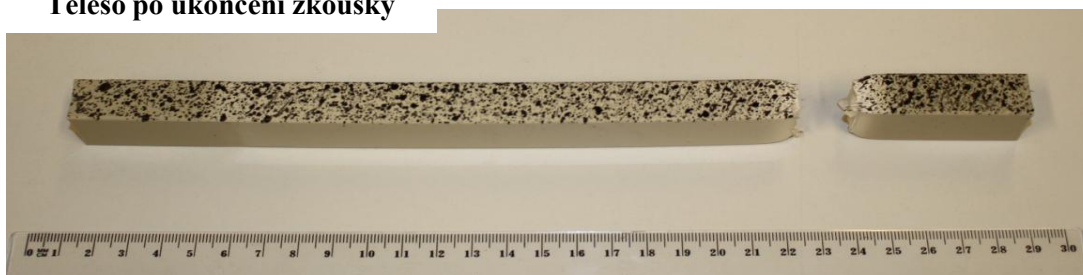
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	14,61	19,94	10,52	291,32

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	9,899	11,81	10,54

Těleso po ukončení zkoušky

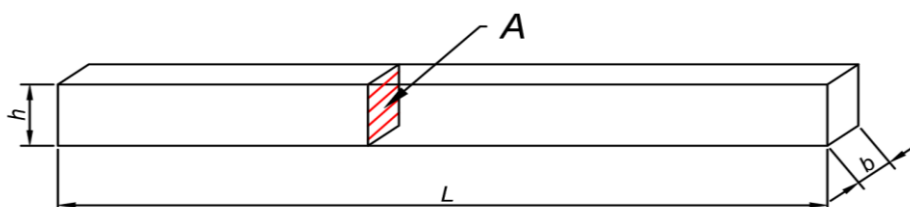


Zkušební těleso č. 6

PP T A h15 b20 v10.0

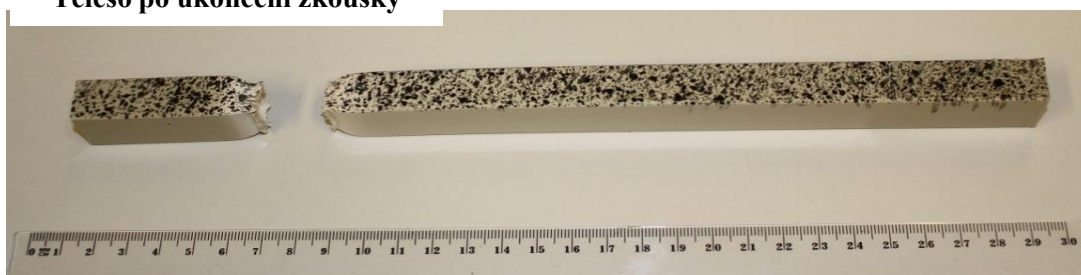
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	14,66	20,02	10,48	293,47

Schéma tělesa:

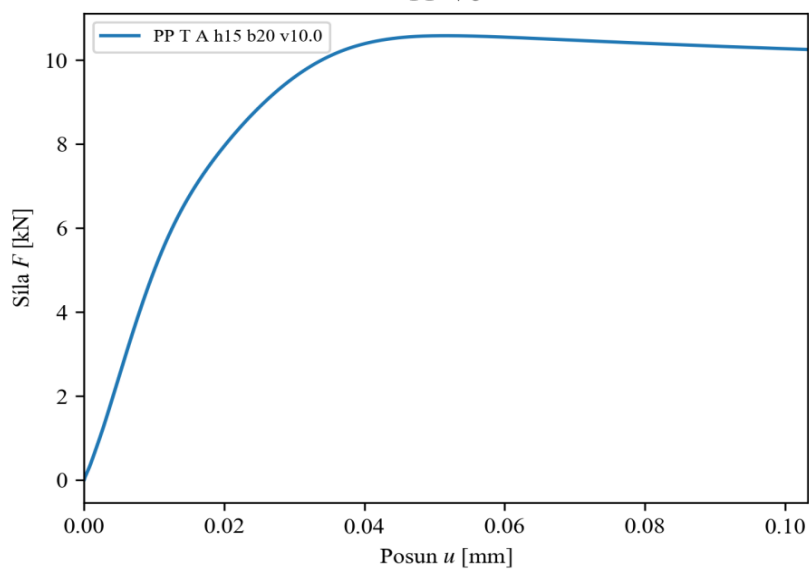


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	10,584	1,81	9,63

Těleso po ukončení zkoušky



PP V6

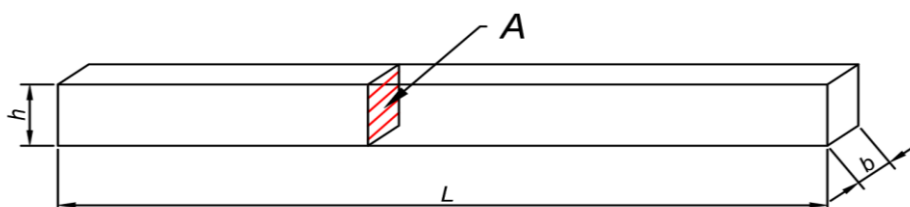


Zkušební těleso č. 7

PP T A h20 b20 v0.1

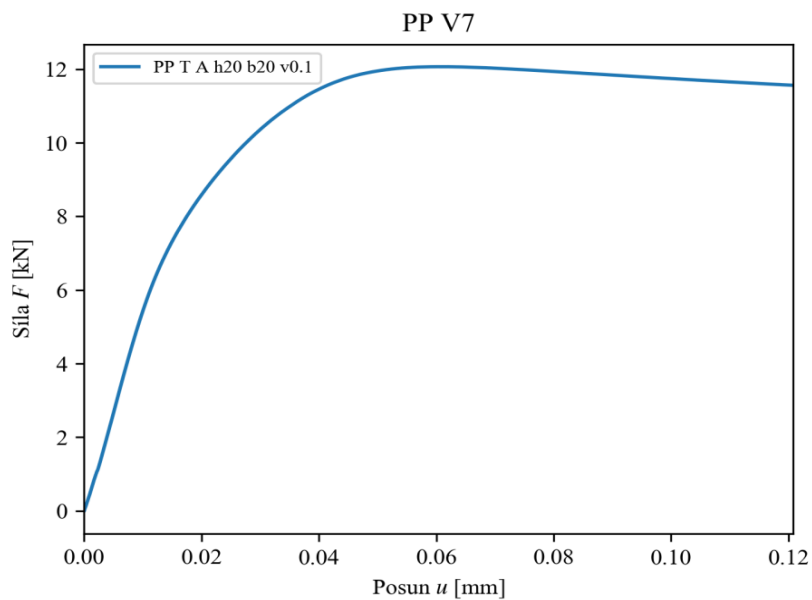
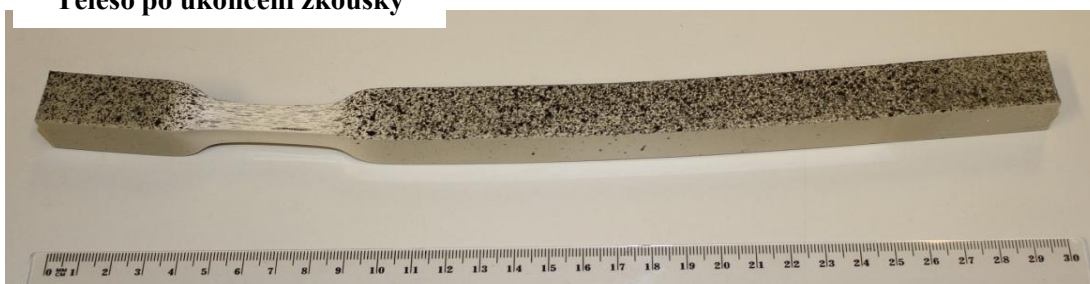
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	19,47	19,73	13,97	384,14

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	12,065	121,53	11,55

Těleso po ukončení zkoušky

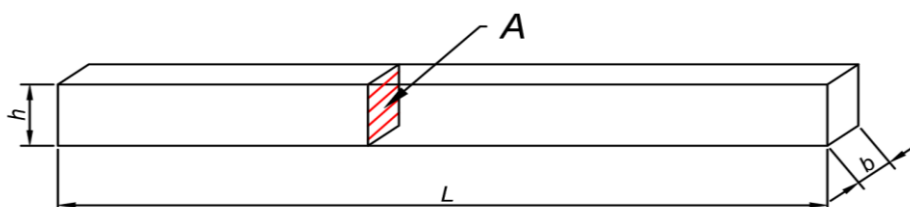


Zkušební těleso č. 8

PP T A h20 b20 v1.0

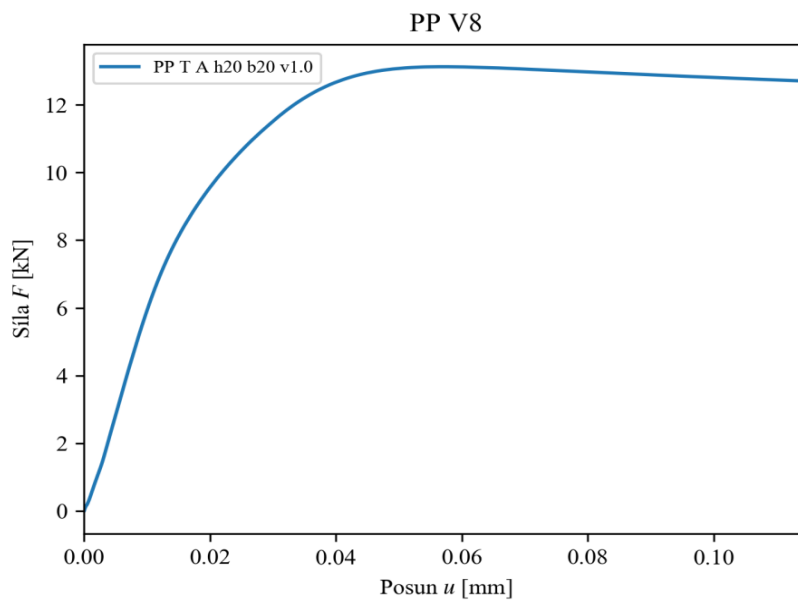
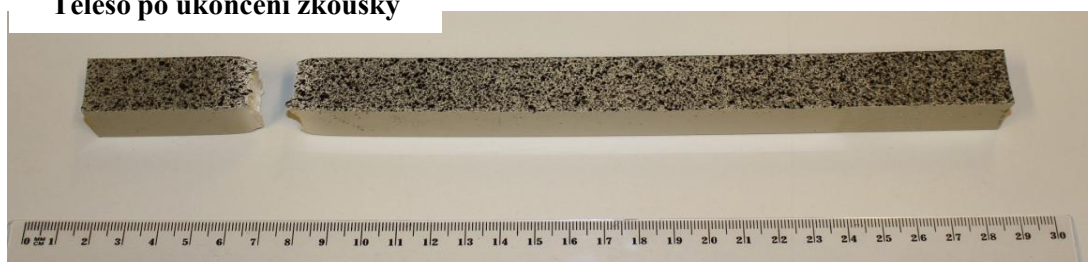
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	19,47	19,83	14,05	385,93

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	13,124	12,28	10,94

Těleso po ukončení zkoušky

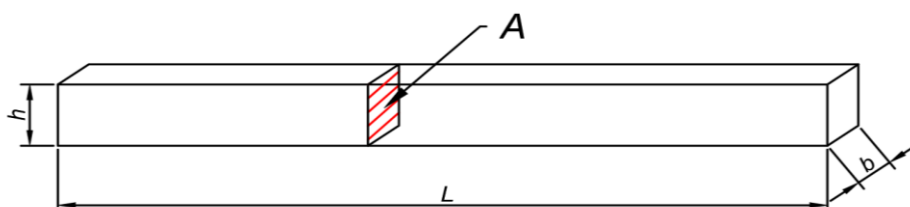


Zkušební těleso č. 9

PP T A h20 b20 v10.0

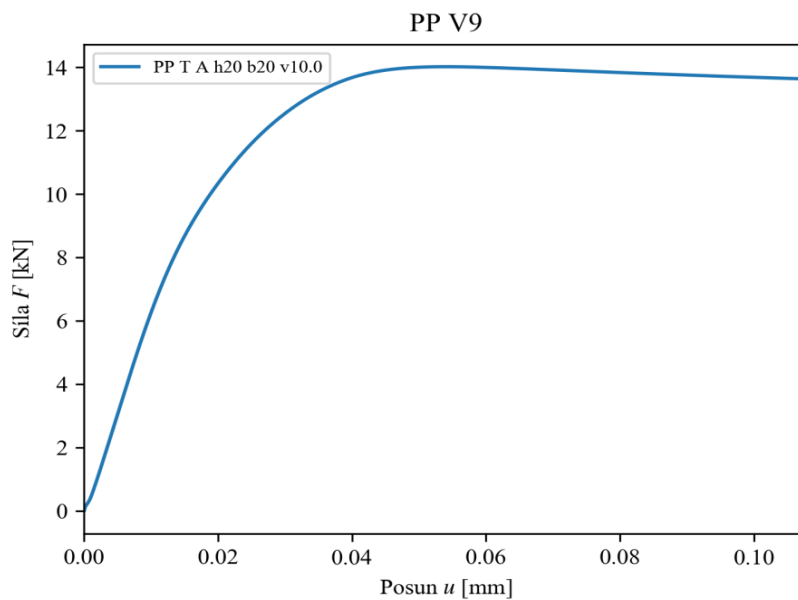
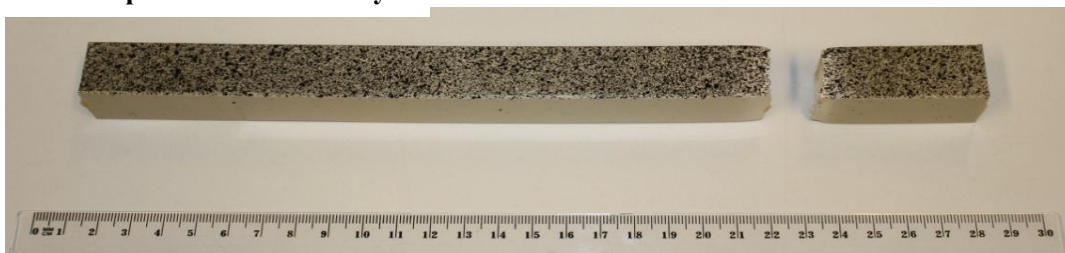
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	19,46	19,96	13,88	388,46

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	14,020	1,86	10,33

Těleso po ukončení zkoušky

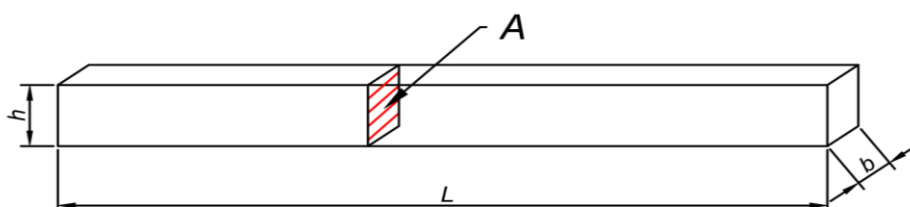


Zkušební těleso č. 10

PP T A h25 b20 v0.1

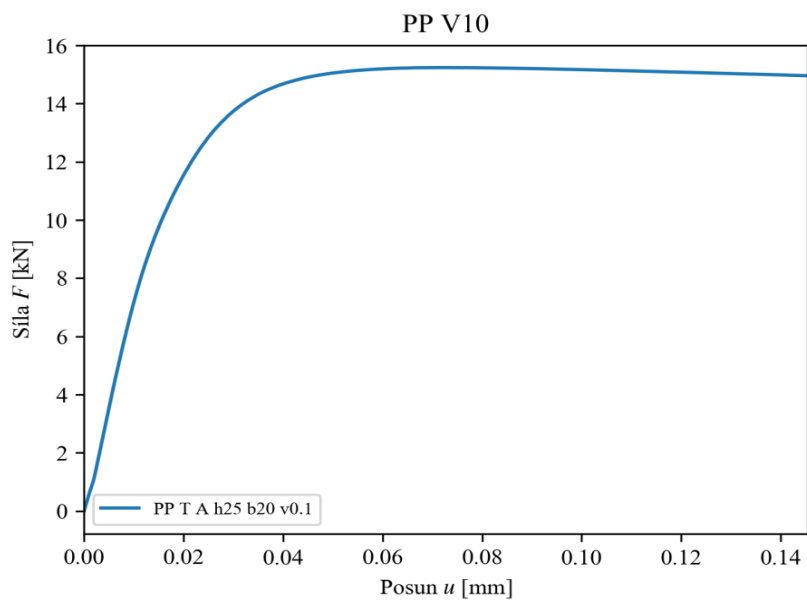
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	24,83	20,02	21,03	497,02

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	15,240	146,19	13,98

Těleso po ukončení zkoušky

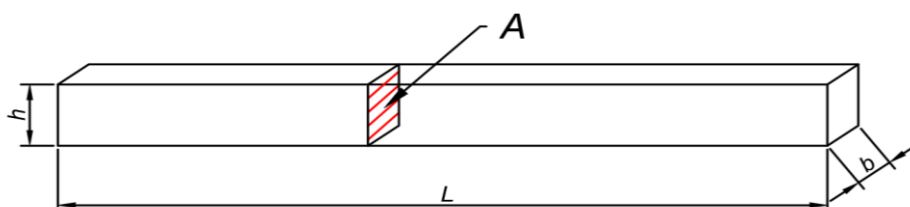


Zkušební těleso č. 11

PP T A h25 b20 v1.0

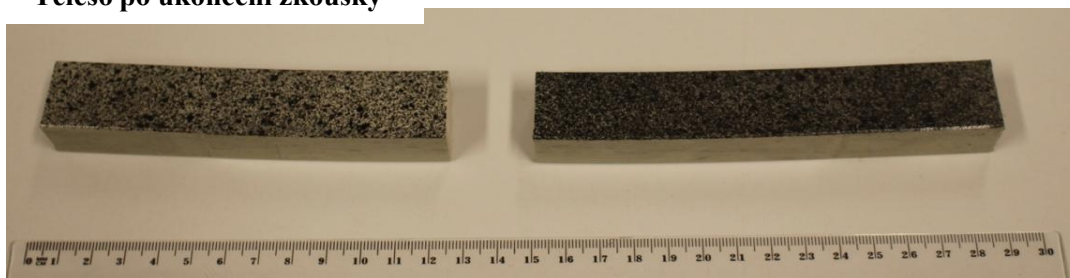
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	24,81	19,66	20,89	487,84

Schéma tělesa:

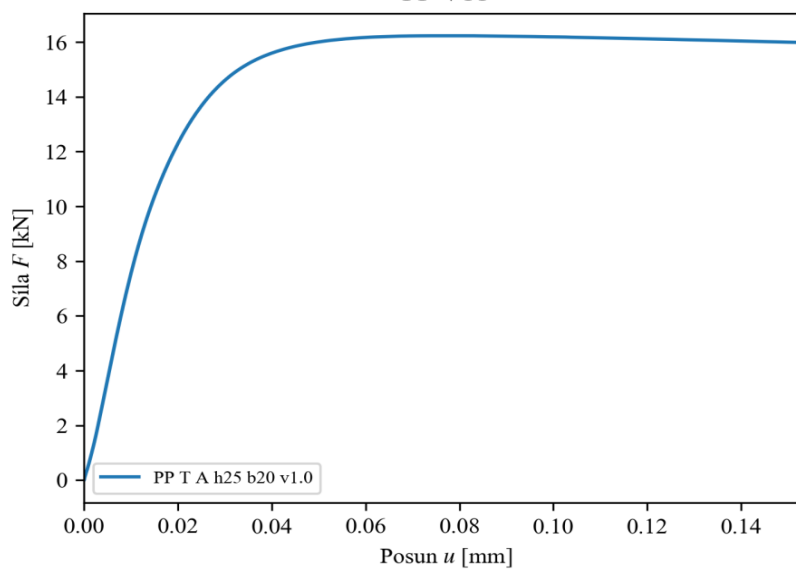


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	16,230	16,20	14,85

Těleso po ukončení zkoušky



PP V11

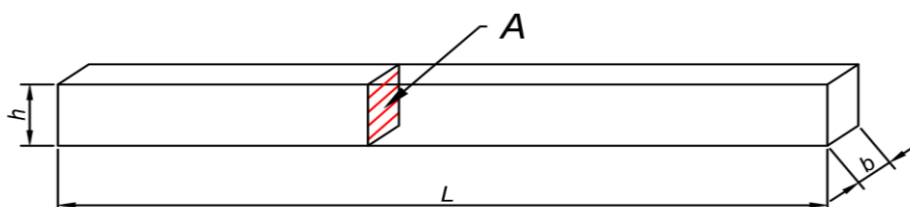


Zkušební těleso č. 12

PP T A h25 b20 v10.0

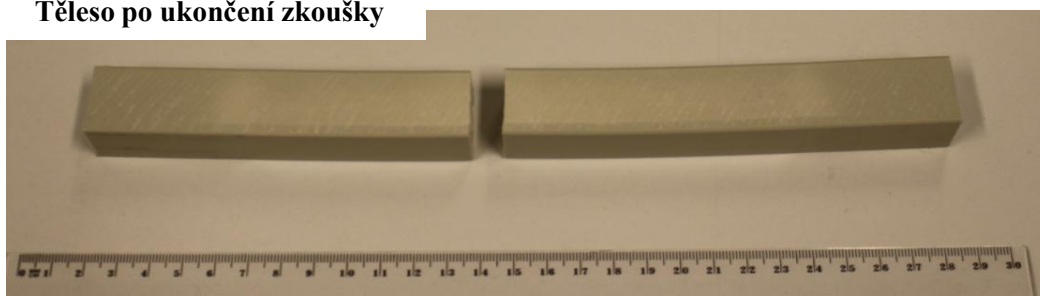
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	24,82	20,35	20,94	504,91

Schéma tělesa:

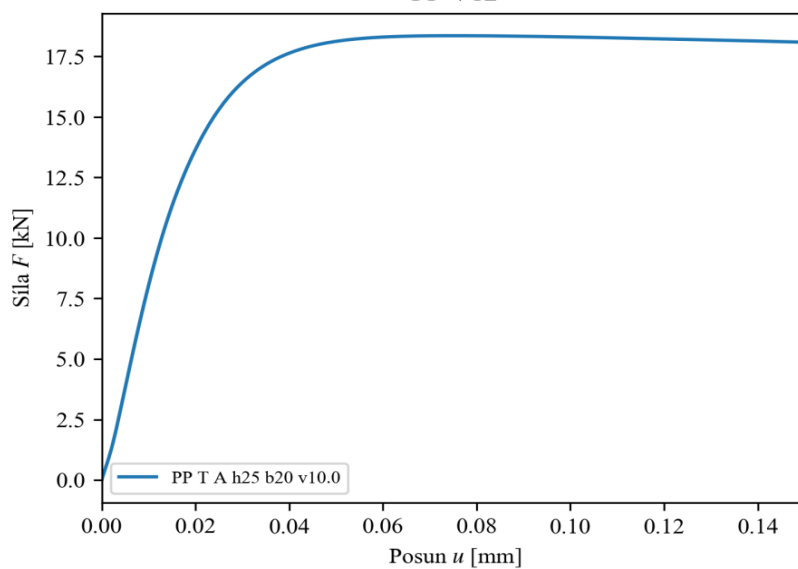


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	18,347	2,30	7,77

Těleso po ukončení zkoušky



PP V12

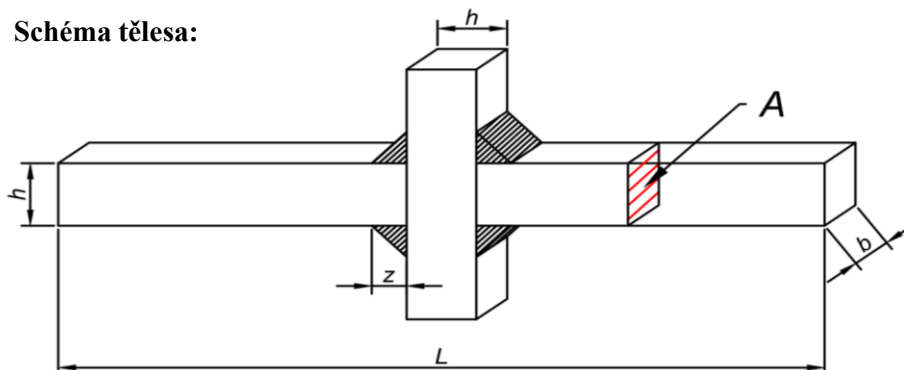


Zkušební těleso č. 13

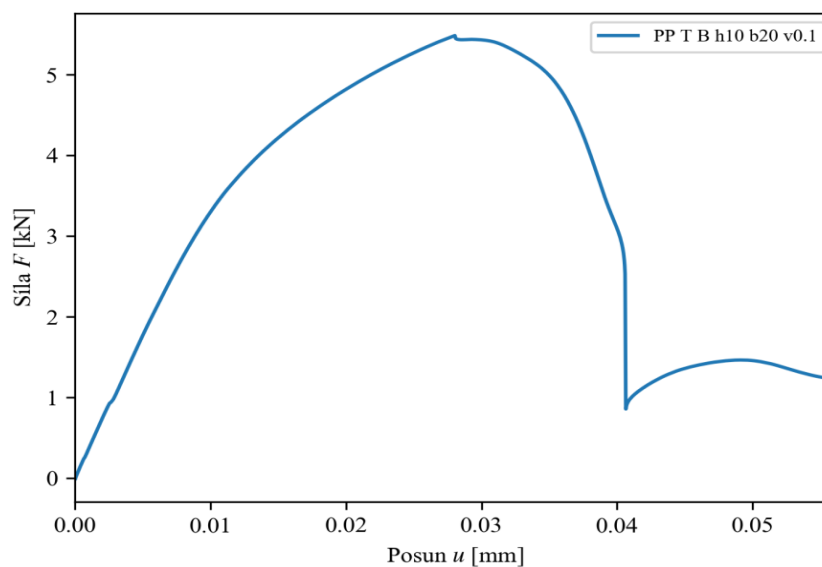
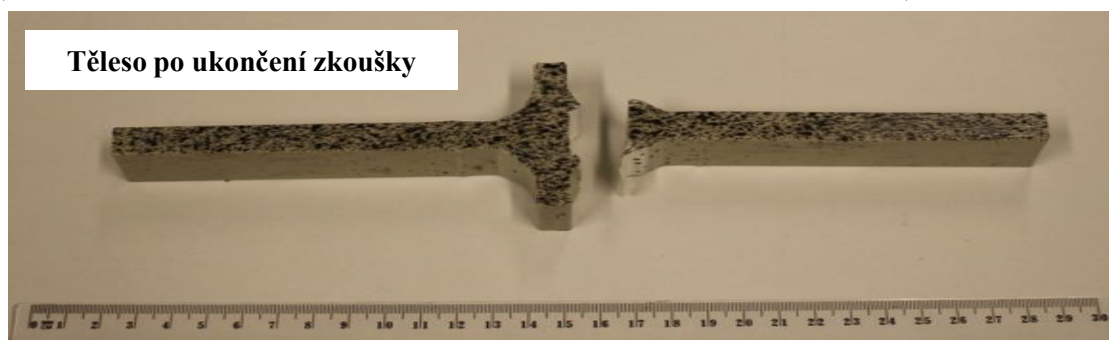
PP T B h10 b20 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	251,5	9,69	20,54	6,97	198,88

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	5,481	56,88	5,36

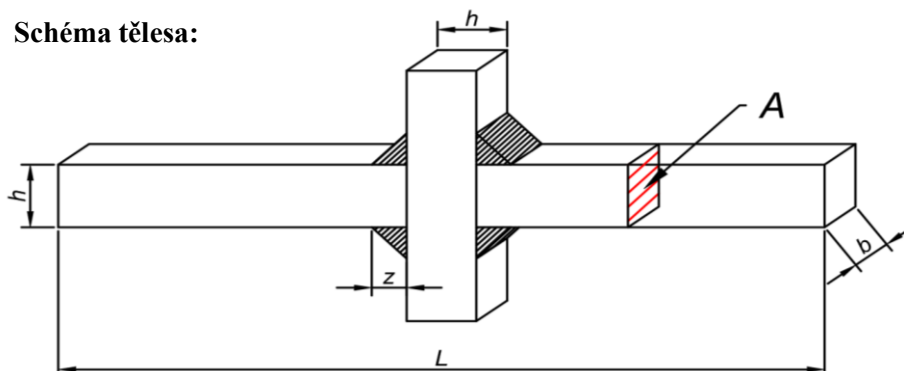


Zkušební těleso č. 14

PP T B h10 b20 v1.0

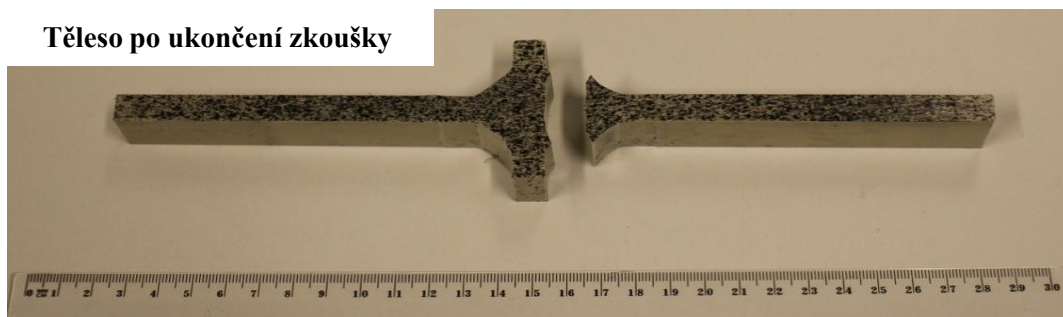
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	251,5	9,71	20,42	6,93	198,20

Schéma tělesa:

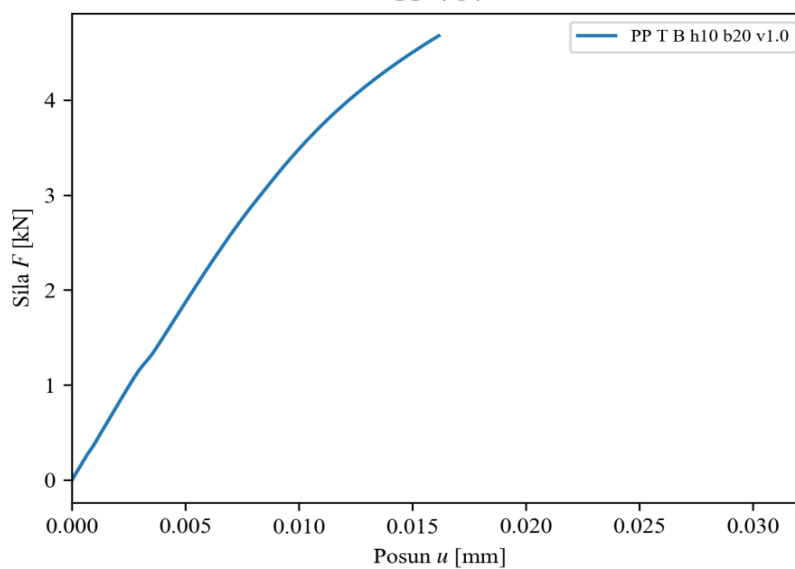


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	4,939	4,41	3,38

Těleso po ukončení zkoušky



PP V14

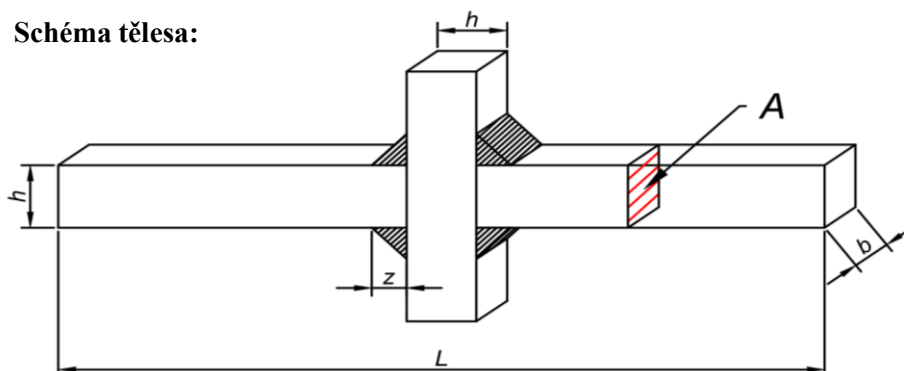


Zkušební těleso č. 15

PP T B h10 b20 v10.0

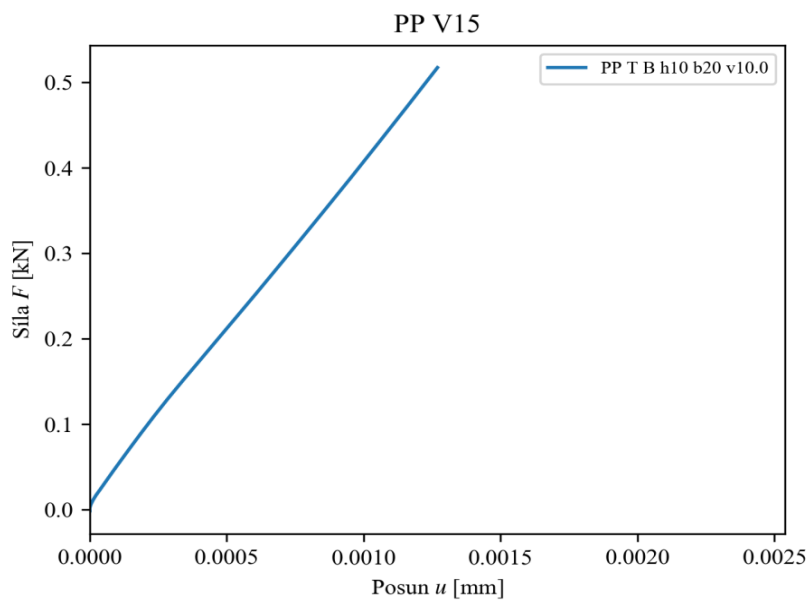
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	251,5	9,69	19,71	7,04	191,01

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	3,584	0,91	1,71

Těleso po ukončení zkoušky

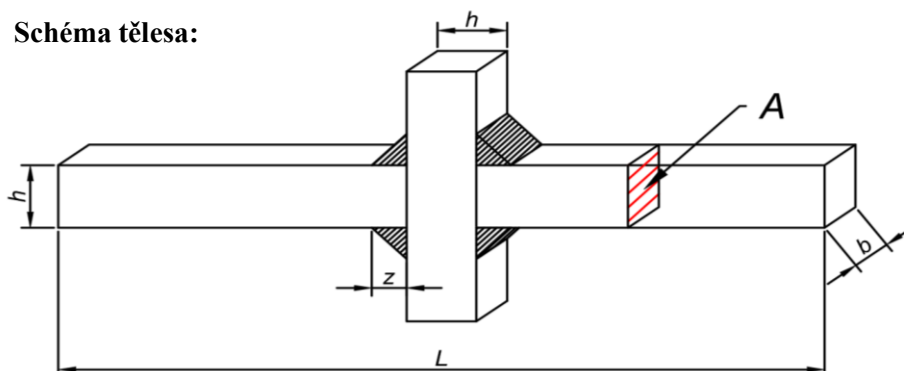


Zkušební těleso č. 16

PP T B h15 b20 v0.1

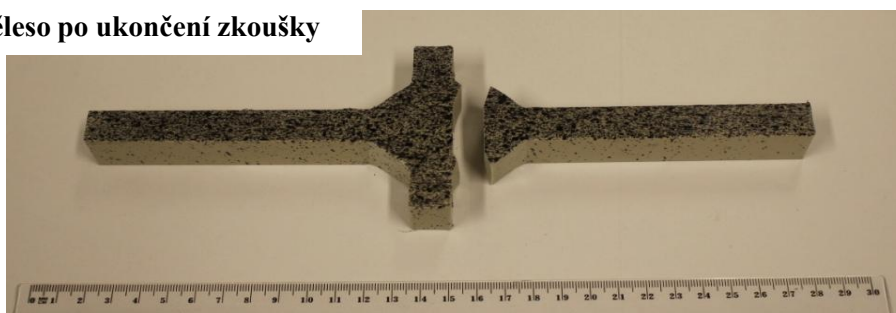
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	255,0	14,69	20,42	10,46	299,92

Schéma tělesa:

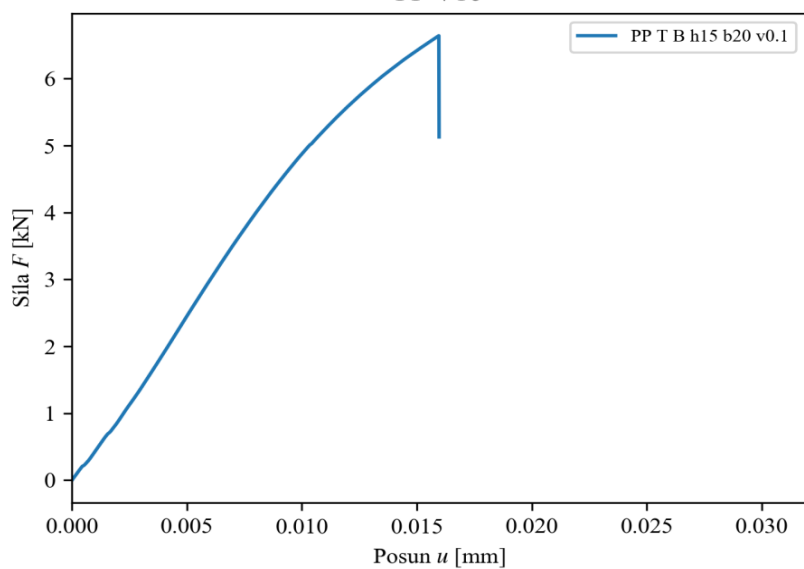


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	6,643	32,70	2,84

Těleso po ukončení zkoušky



PP V16

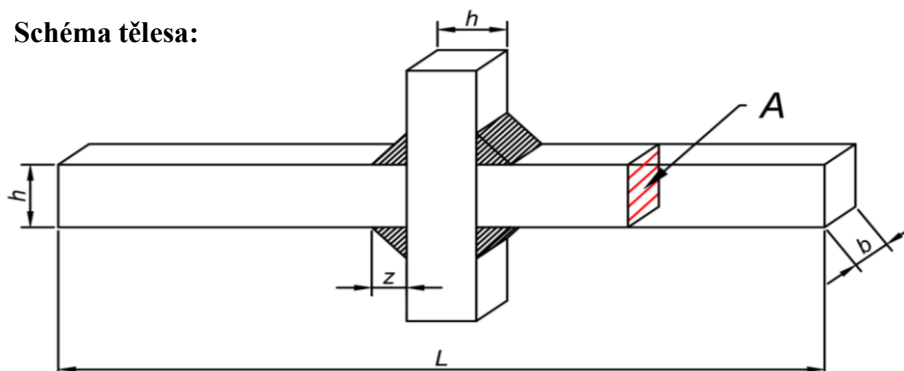


Zkušební těleso č. 17

PP T B h15 b20 v1.0

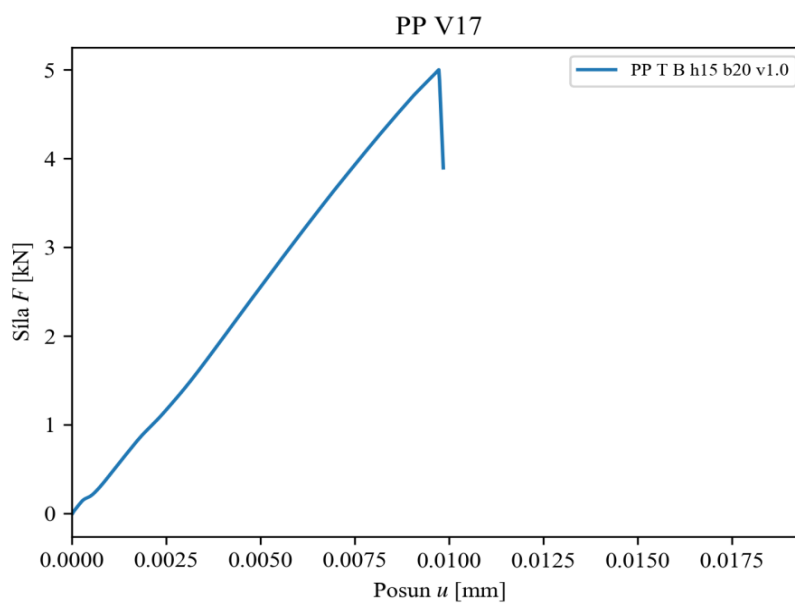
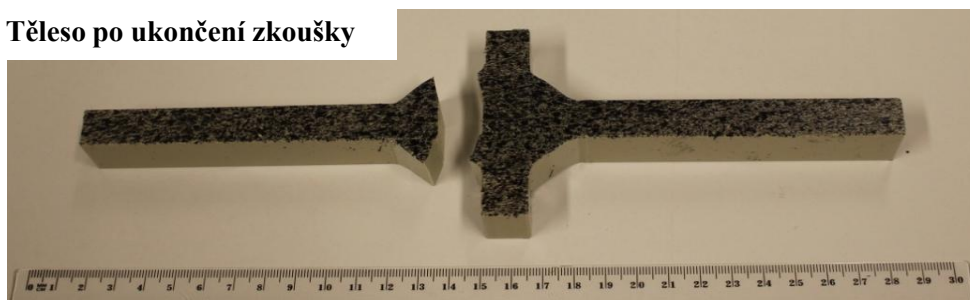
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	255,0	14,63	19,94	10,54	291,67

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	5,002	2,72	1,66

Těleso po ukončení zkoušky

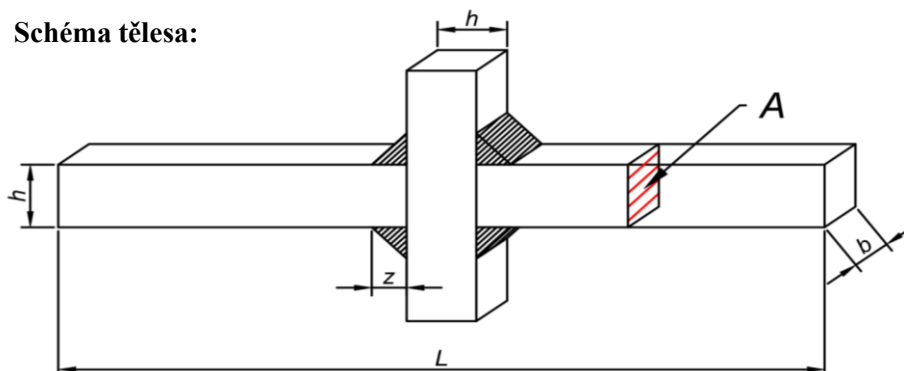


Zkušební těleso č. 18

PP T B h15 b20 v10.0

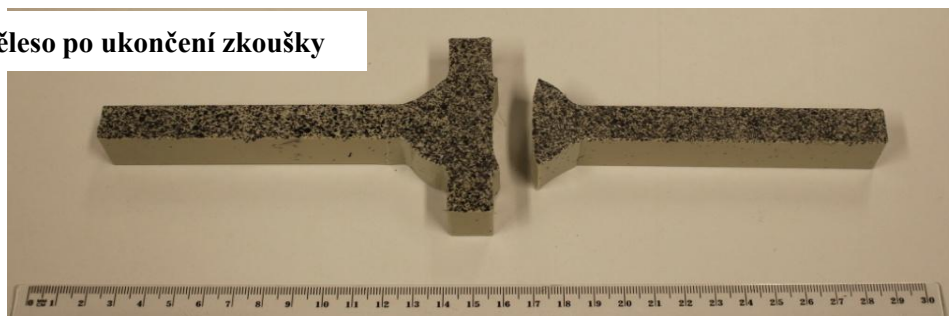
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	255,0	14,68	20,02	10,50	293,88

Schéma tělesa:

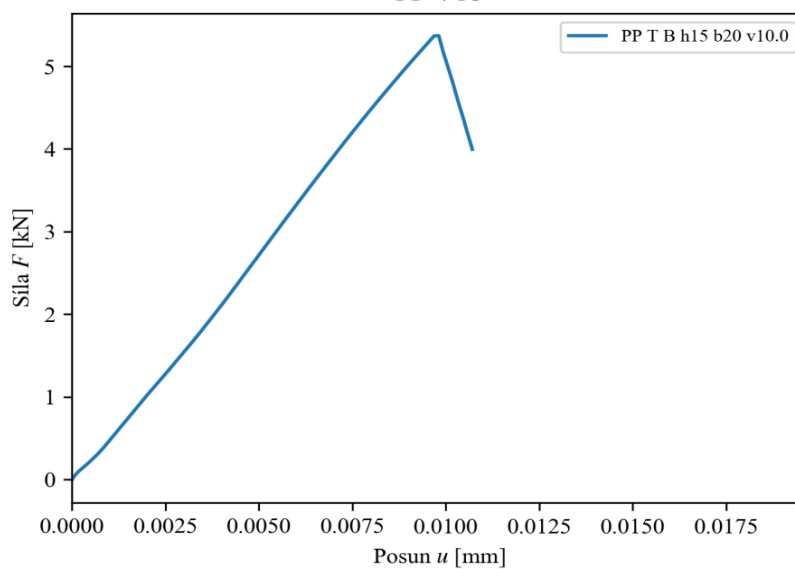


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	5,368	0,91	1,68

Těleso po ukončení zkoušky



PP V18

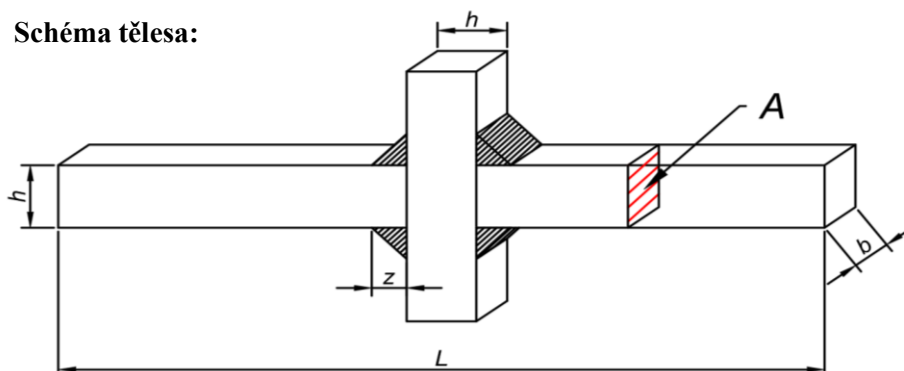


Zkušební těleso č. 19

PP T B h20 b20 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	260,0	19,49	19,73	13,99	384,59

Schéma tělesa:

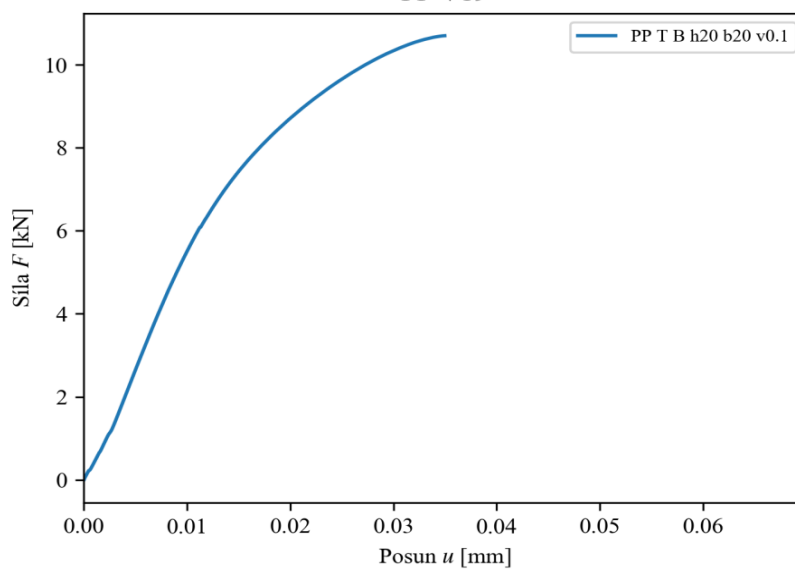


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	10,695	70,79	0,00

Těleso po ukončení zkoušky



PP V19

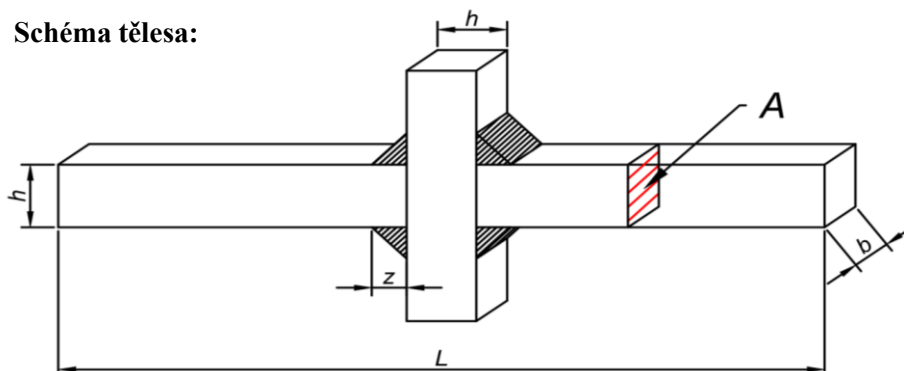


Zkušební těleso č. 20

PP T B h20 b20 v1.0

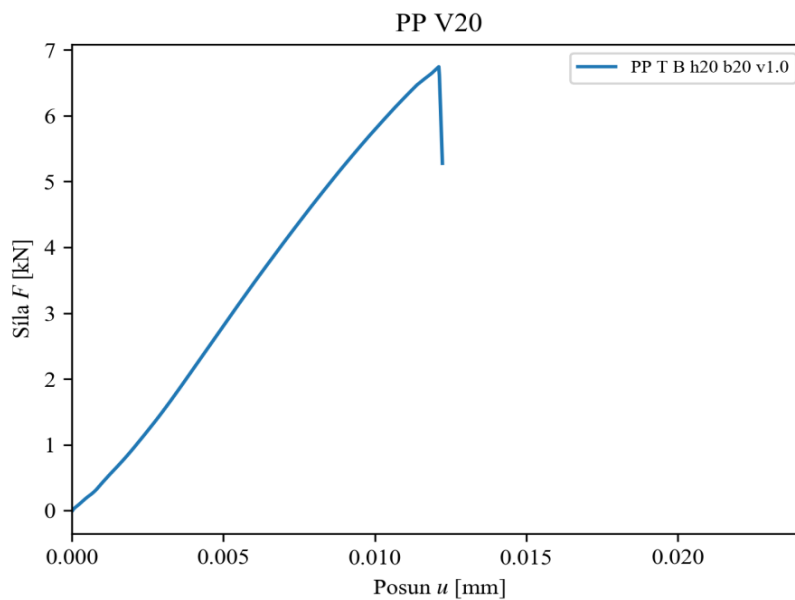
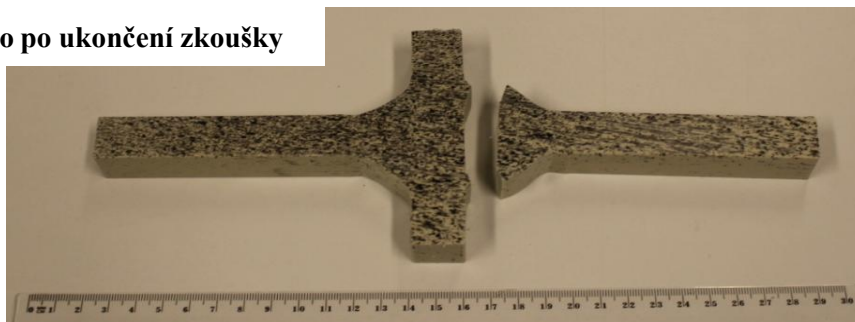
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	260,0	19,51	19,82	14,07	386,64

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	6,744	3,19	2,03

Těleso po ukončení zkoušky

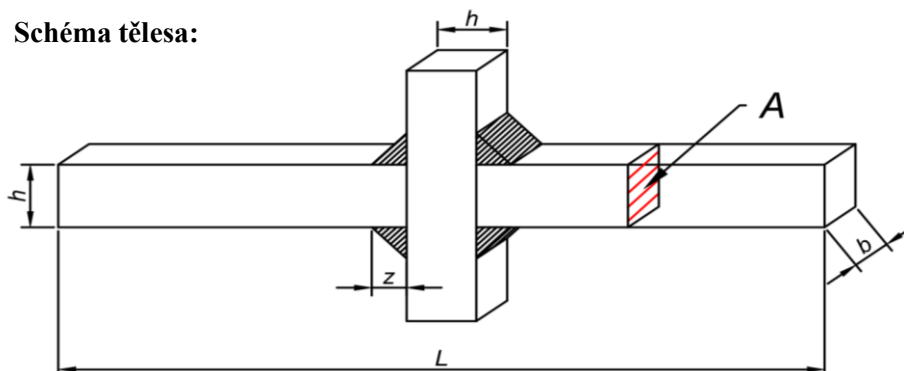


Zkušební těleso č. 21

PP T B h20 b20 v10.0

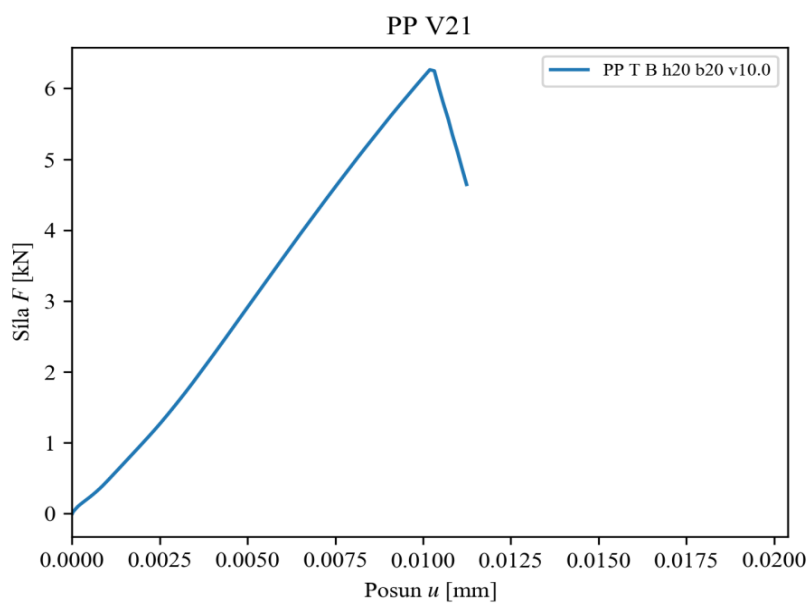
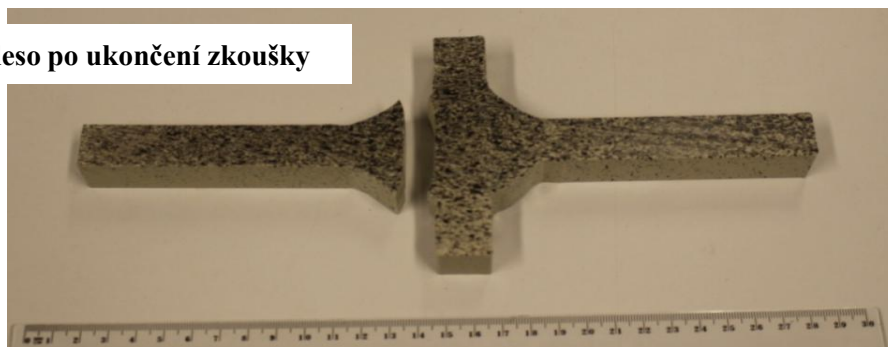
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	260,0	19,45	19,96	13,90	388,27

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	6,263	0,92	1,66

Těleso po ukončení zkoušky

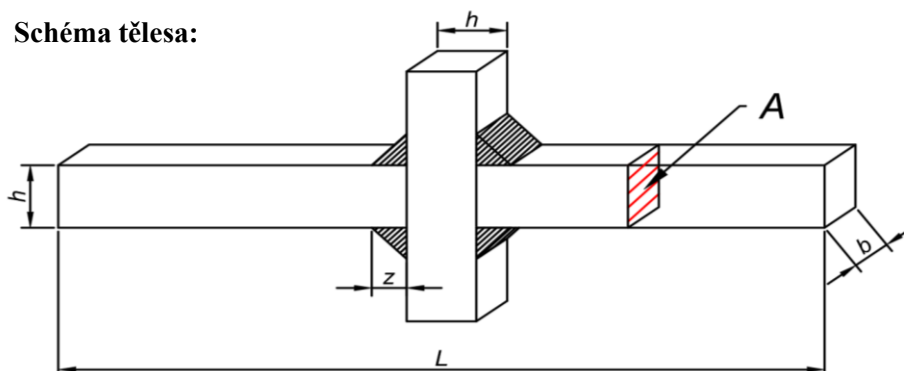


Zkušební těleso č. 22

PP T B h25 b25 v0.1

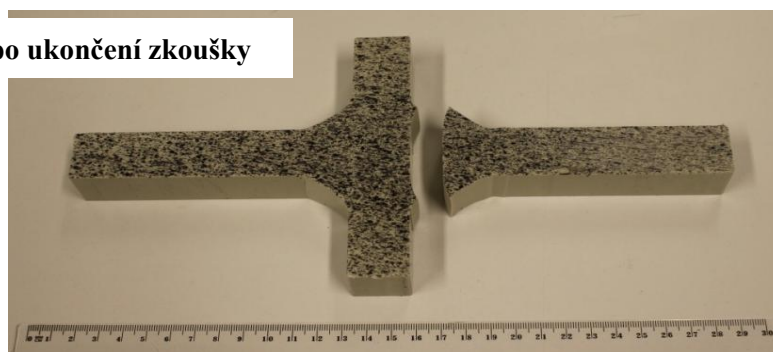
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	265,0	24,80	24,80	21,05	615,04

Schéma tělesa:

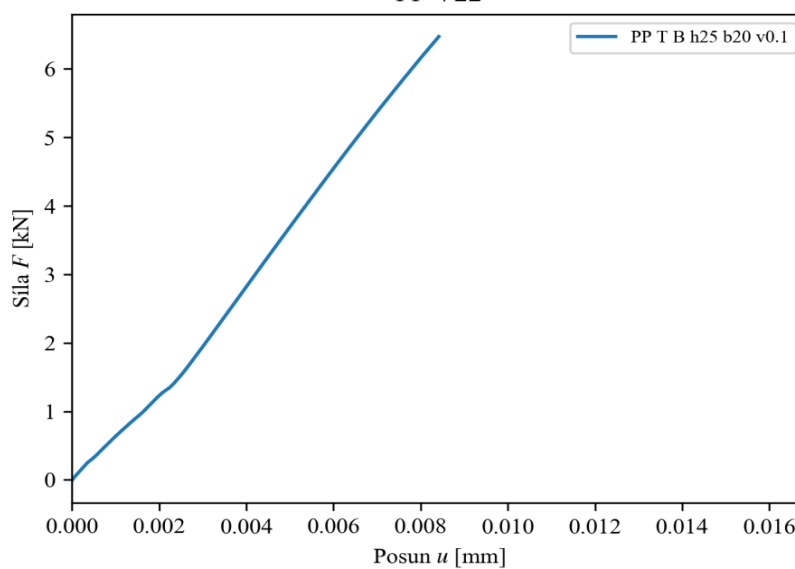


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	6,616	18,03	1,36

Těleso po ukončení zkoušky



PP V22

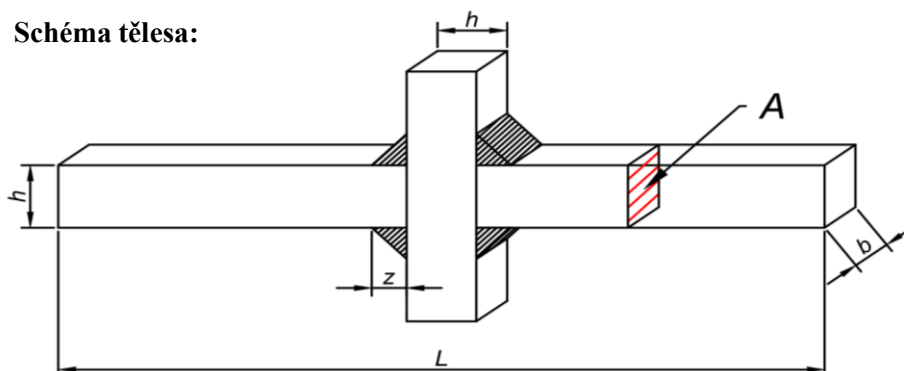


Zkušební těleso č. 23

PP T B h25 b25 v1.0

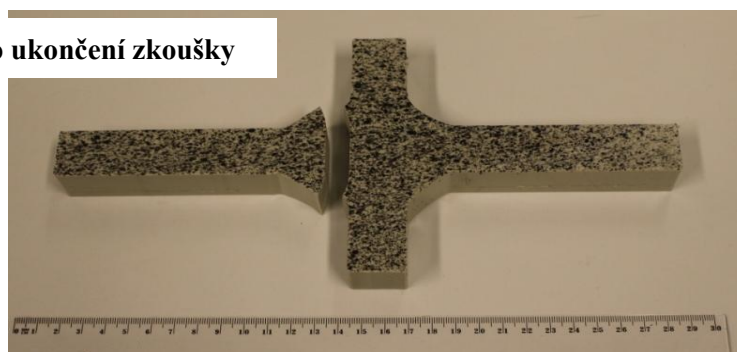
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	265,0	24,77	24,77	20,91	613,31

Schéma tělesa:

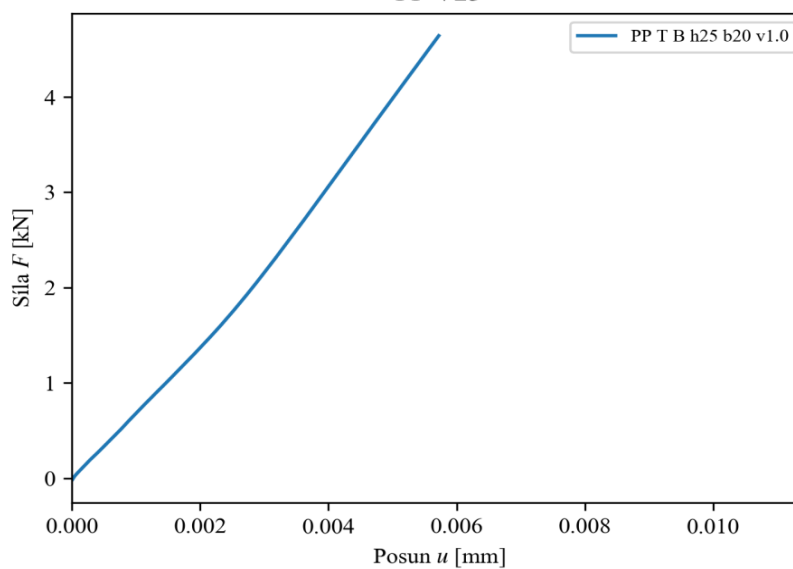


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	6,361	2,35	1,36

Těleso po ukončení zkoušky



PP V23

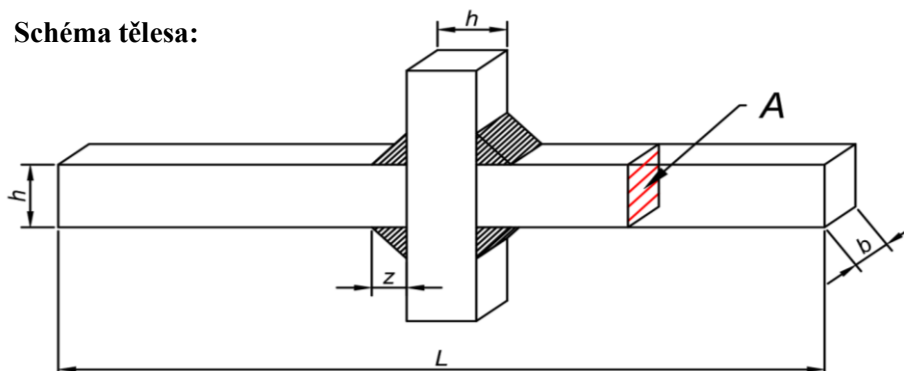


Zkušební těleso č. 24

PP T B h25 b25 v10.0

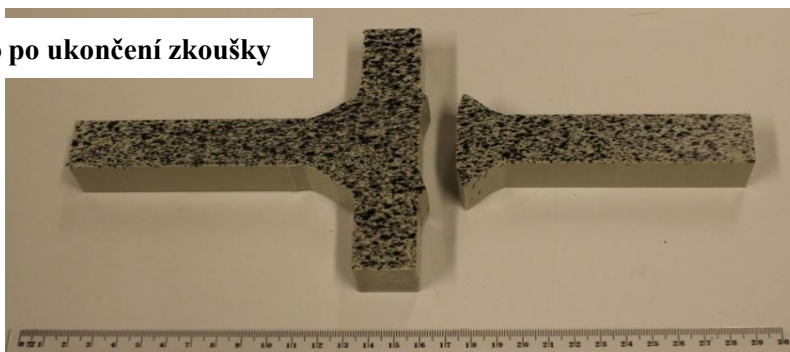
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	265,0	24,80	24,80	20,96	615,16

Schéma tělesa:

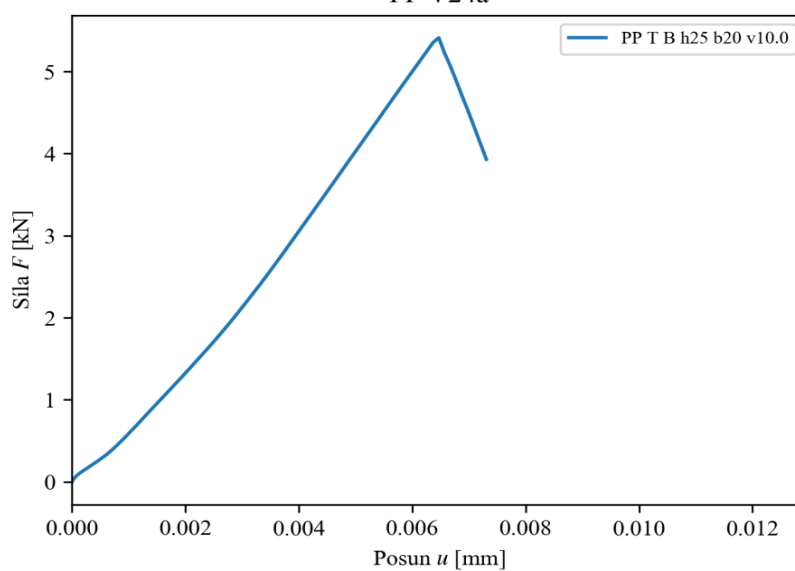


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	5,412	0,78	1,00

Těleso po ukončení zkoušky



PP V24a

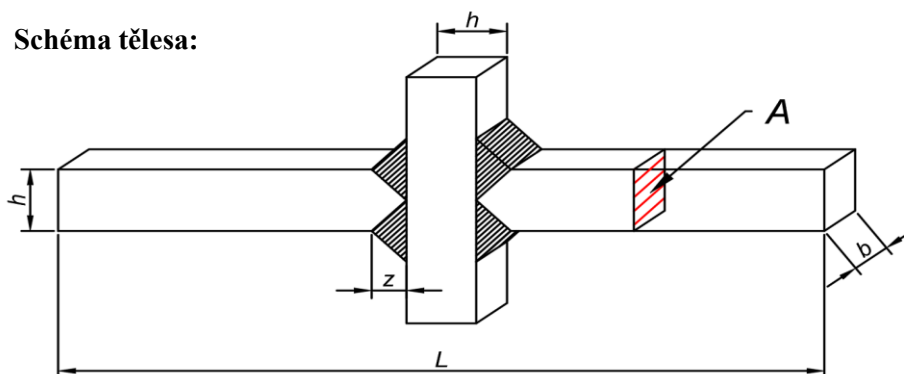


Zkušební těleso č. 25

PP T C h10 b20 v0.1

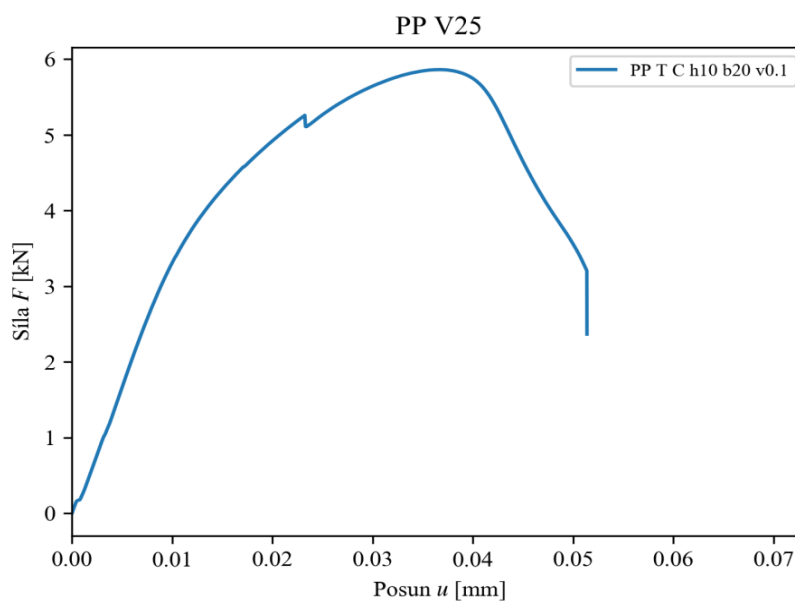
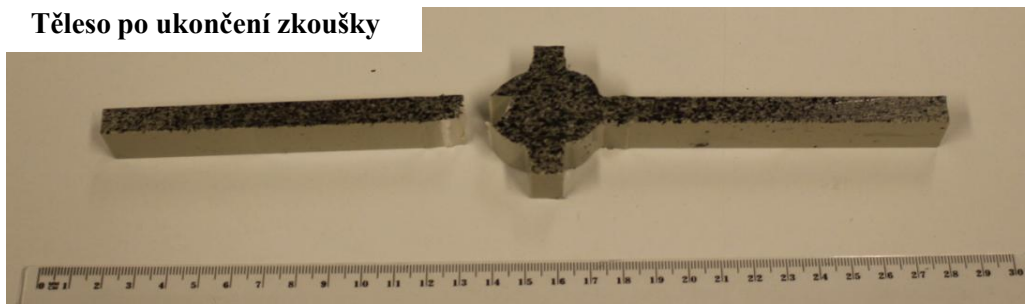
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	249,5	9,74	20,51	6,93	199,79

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	5,863	73,99	6,52

Těleso po ukončení zkoušky

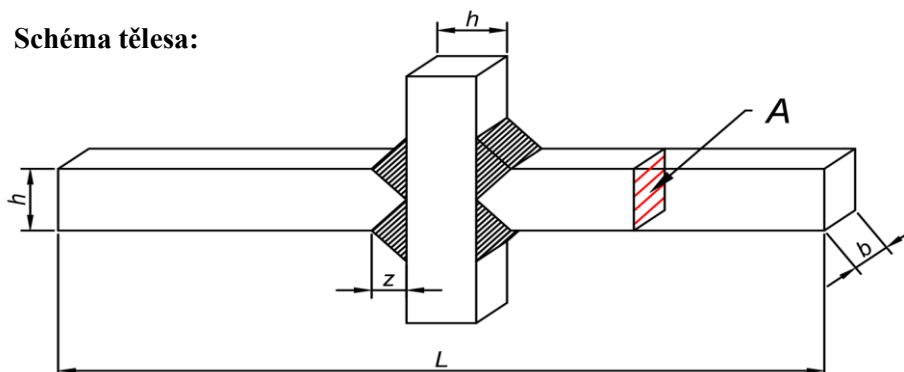


Zkušební těleso č. 26

PP T C h10 b20 v1.0

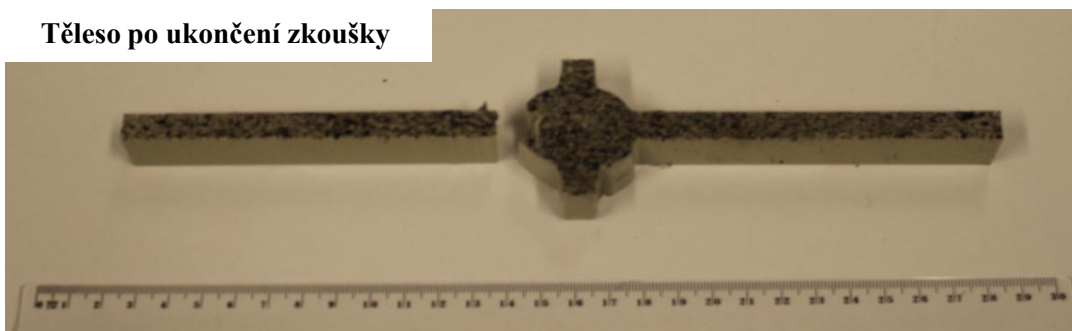
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	249,5	9,76	20,20	6,89	197,20

Schéma tělesa:

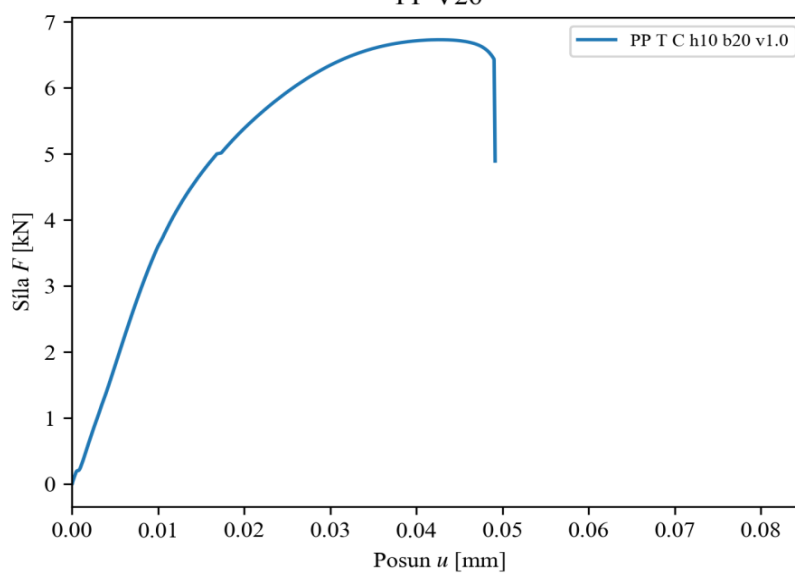


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	6,728	9,29	8,19

Těleso po ukončení zkoušky



PP V26

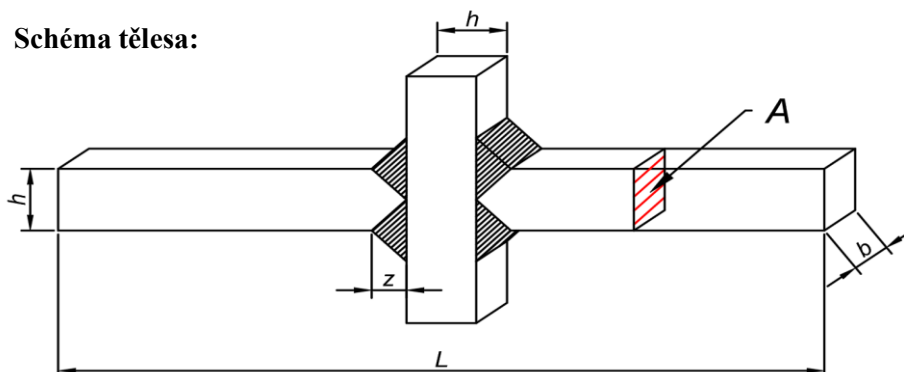


Zkušební těleso č. 27

PP T C h10 b20 v10.0

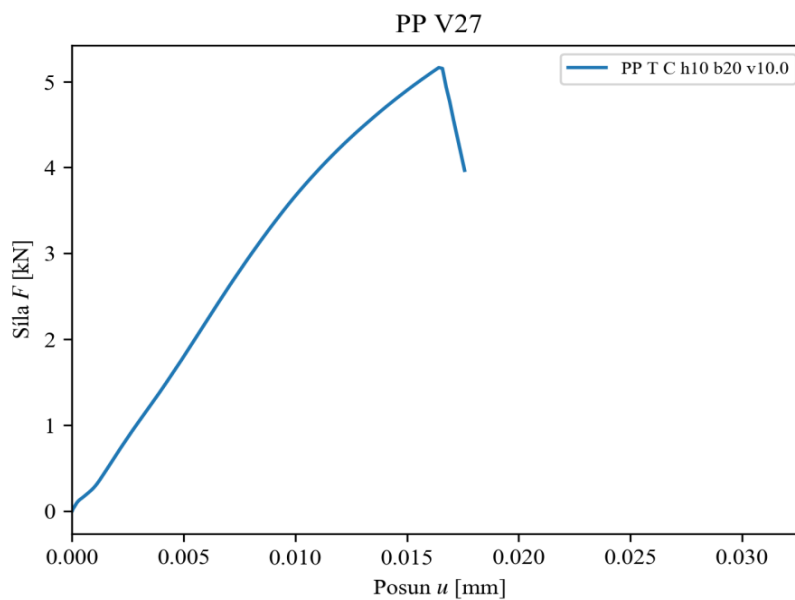
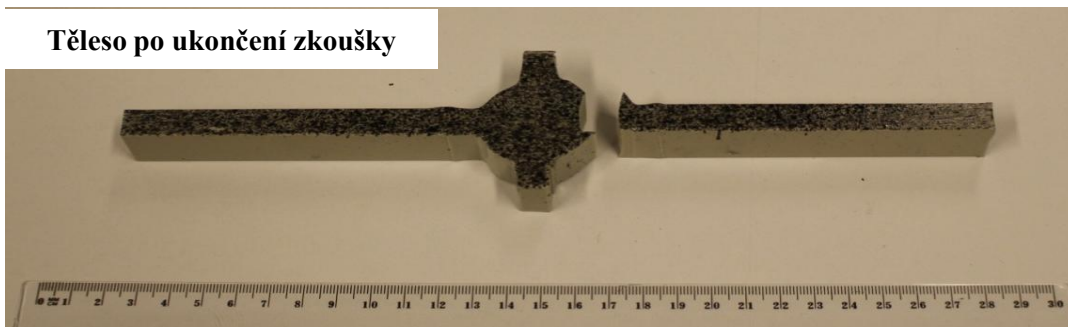
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	249,5	9,75	19,73	7,00	192,32

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	5,162	1,09	3,20

Těleso po ukončení zkoušky

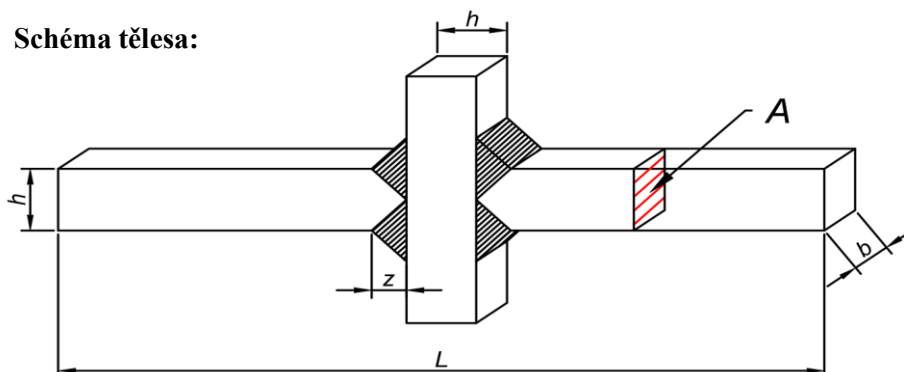


Zkušební těleso č. 28

PP T C h15 b20 v0.1

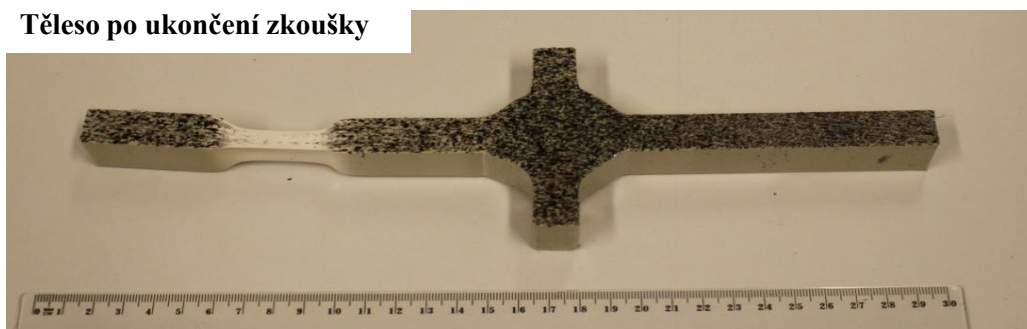
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	254,0	14,69	20,43	10,42	300,10

Schéma tělesa:

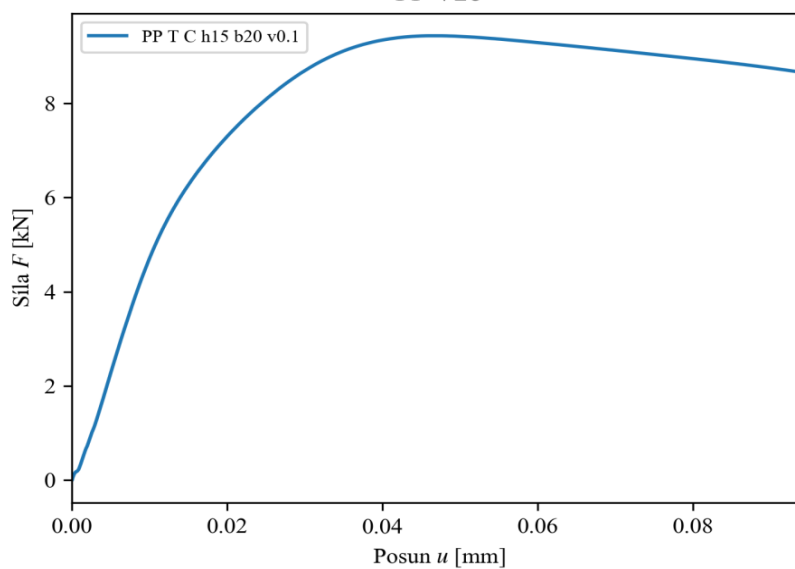


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	9,438	95,30	9,02

Těleso po ukončení zkoušky



PP V28

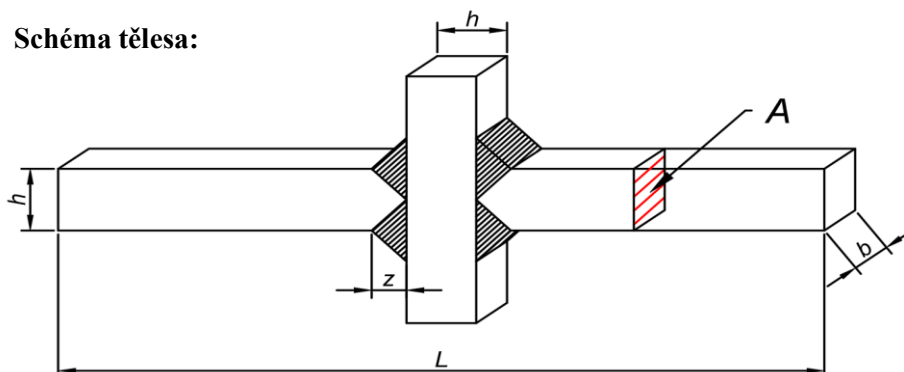


Zkušební těleso č. 29

PP T C h15 b20 v1.0

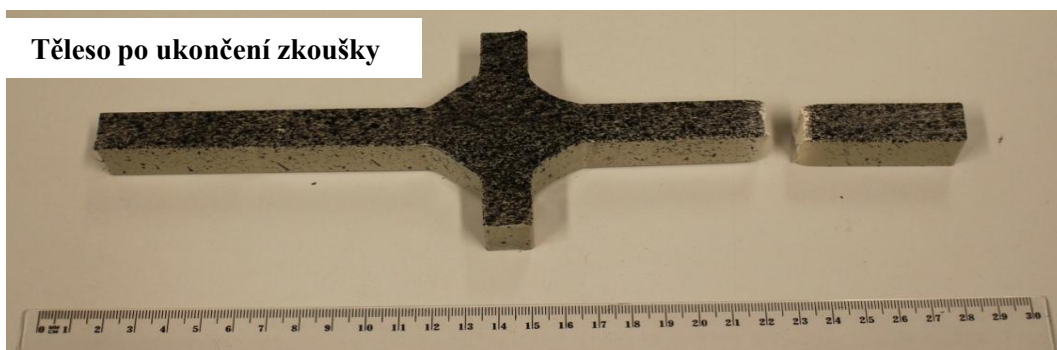
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	254,0	14,65	19,98	10,50	292,53

Schéma tělesa:

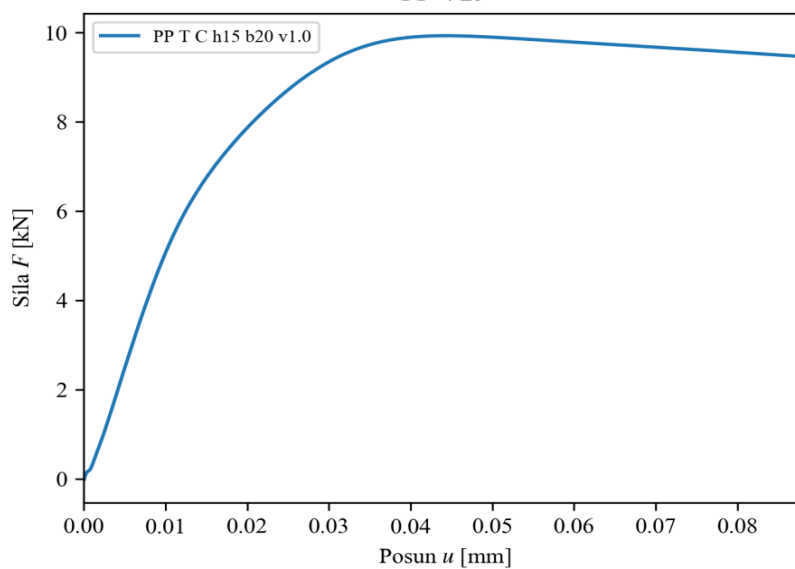


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	9,924	9,61	8,37

Těleso po ukončení zkoušky



PP V29

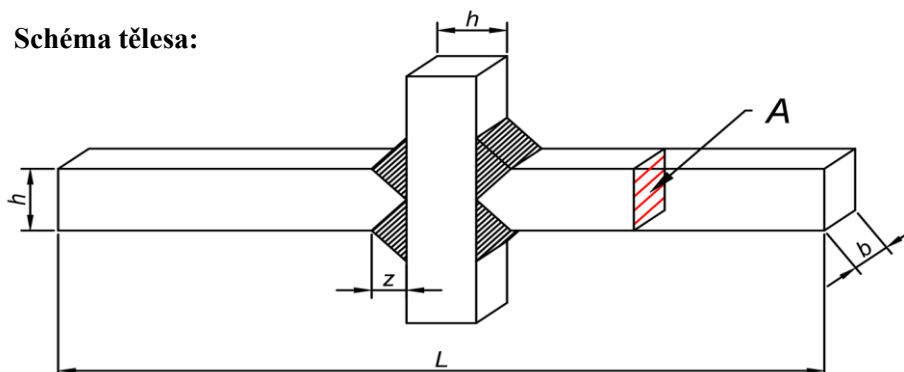


Zkušební těleso č. 30

PP T C h15 b20 v10.0

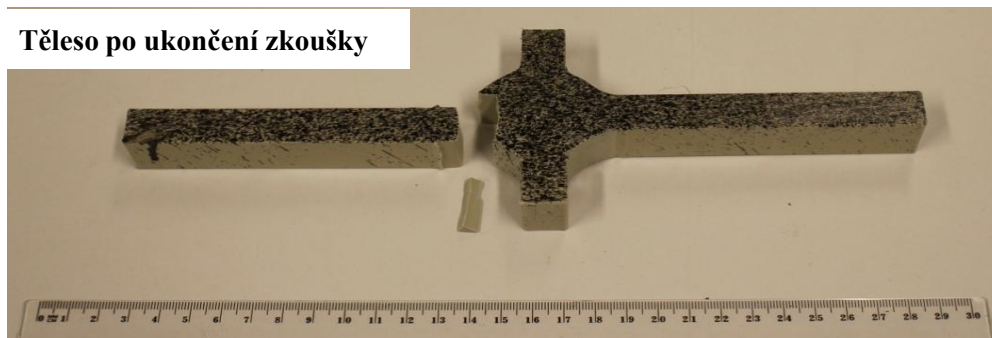
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	254,0	14,69	19,98	10,46	293,41

Schéma tělesa:

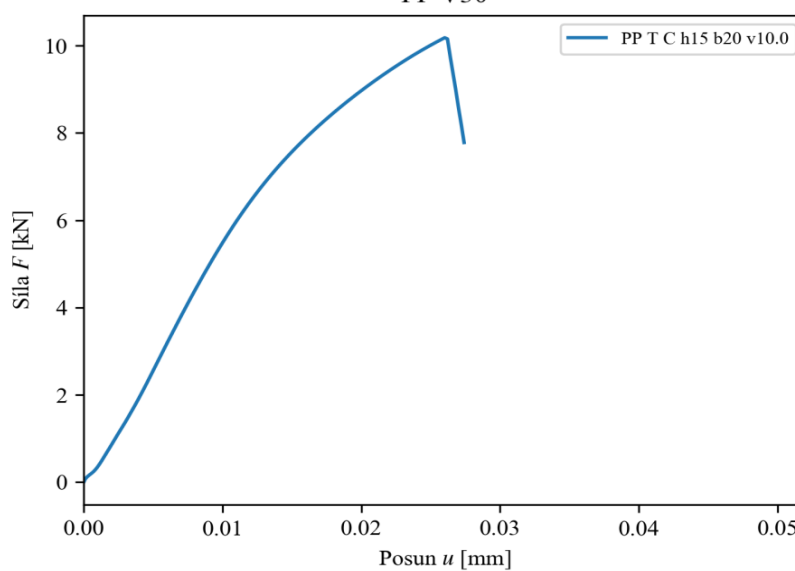


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	10,182	1,28	4,75

Těleso po ukončení zkoušky



PP V30

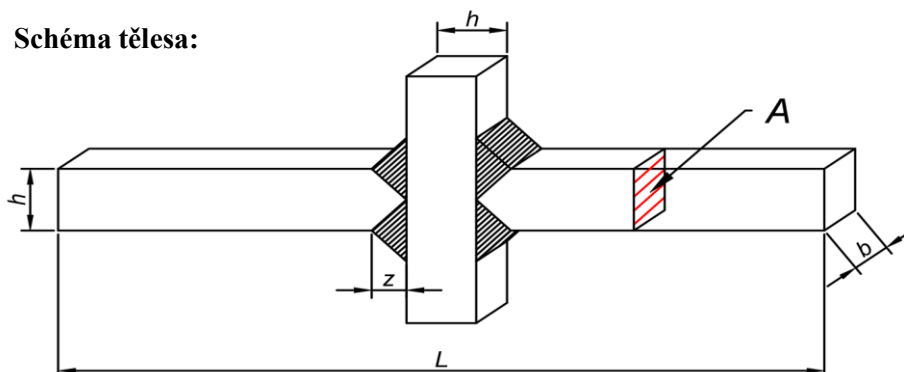


Zkušební těleso č. 31

PP T C h20 b20 v0.1

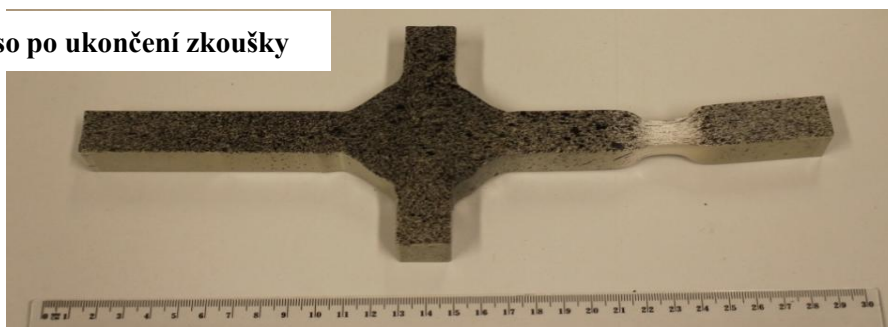
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	259,0	19,43	19,75	13,95	383,65

Schéma tělesa:

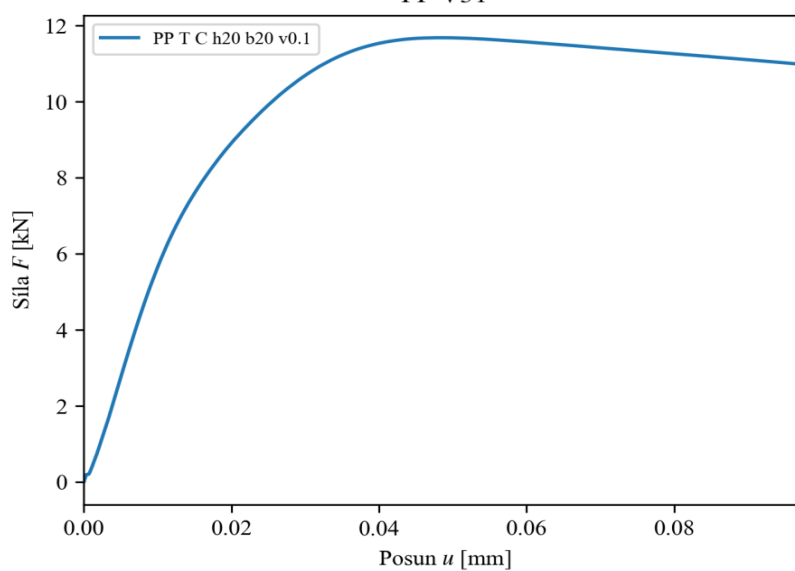


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	11,686	98,58	9,30

Těleso po ukončení zkoušky



PP V31

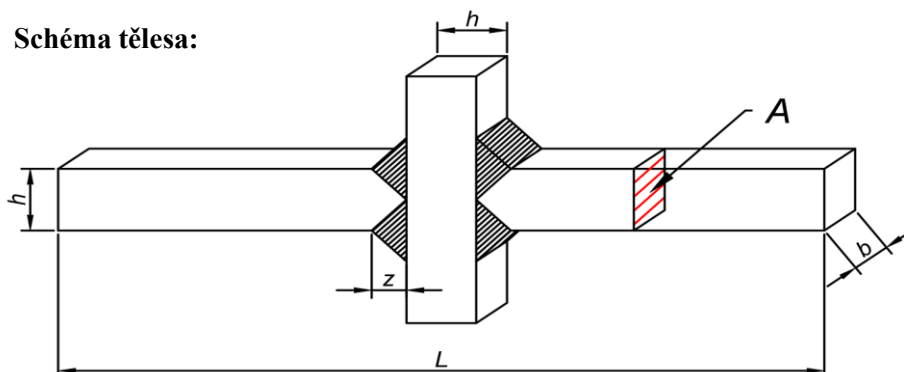


Zkušební těleso č. 32

PP T C h20 b20 v1.0

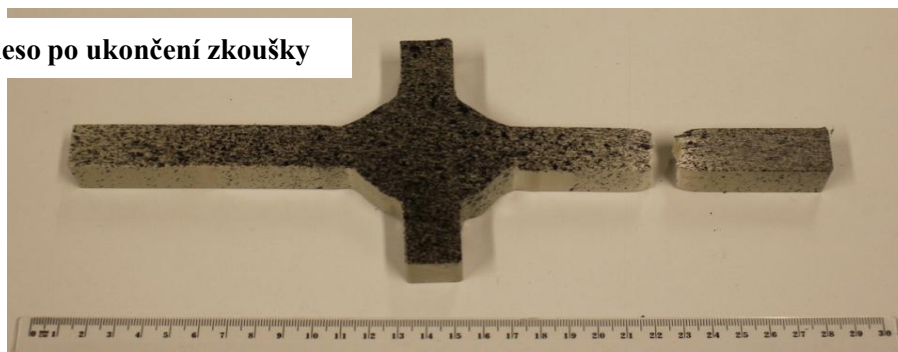
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	259,0	19,49	19,82	14,03	386,29

Schéma tělesa:

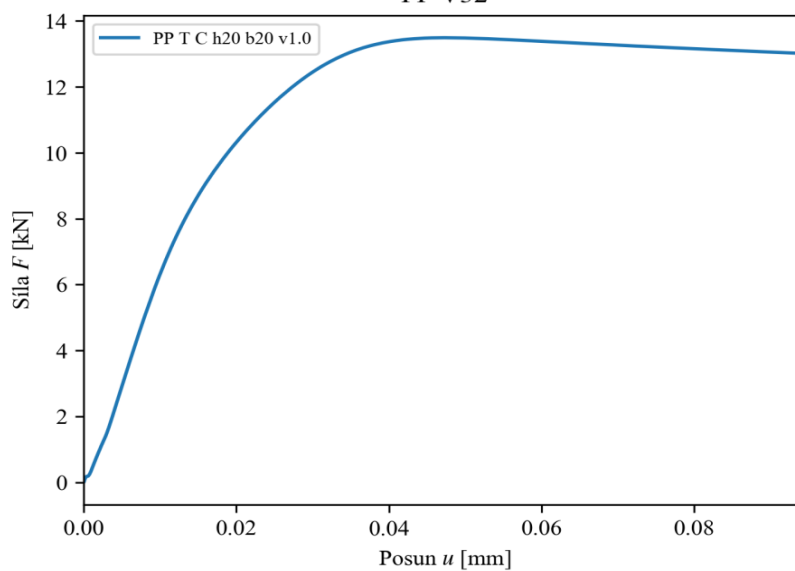


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	13,491	10,25	8,80

Těleso po ukončení zkoušky



PP V32

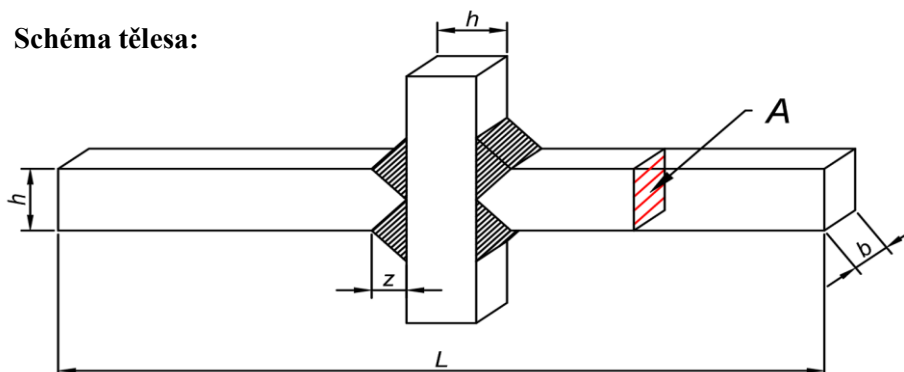


Zkušební těleso č. 33

PP T C h20 b20 v10.0

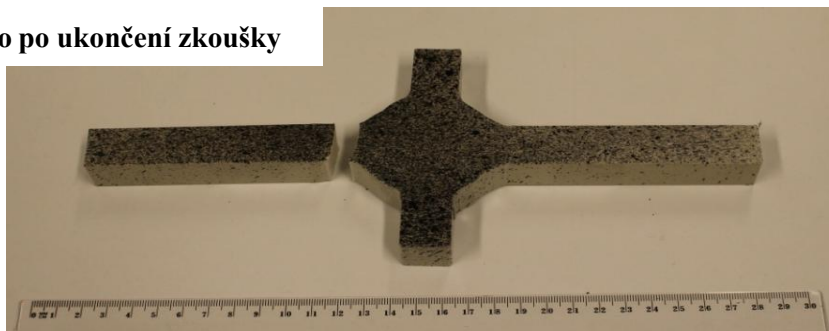
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	259,0	19,46	19,95	13,86	388,33

Schéma tělesa:

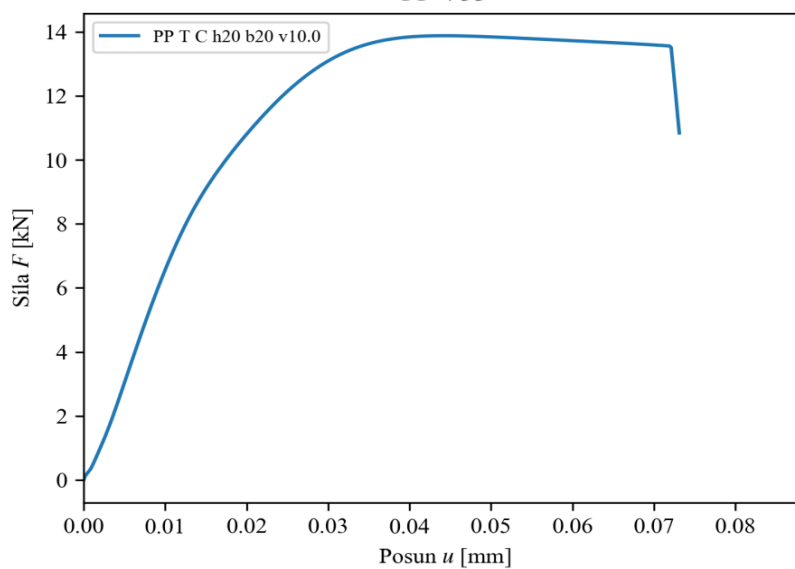


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	13,879	1,67	8,35

Těleso po ukončení zkoušky



PP V33

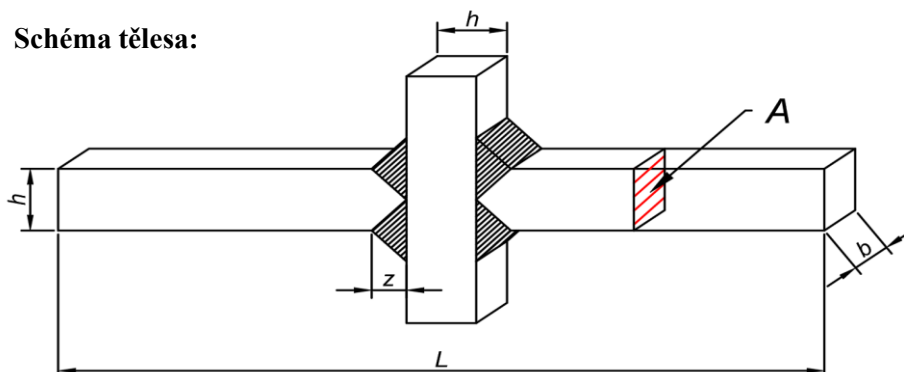


Zkušební těleso č. 34

PP T C h25 b25 v0.1

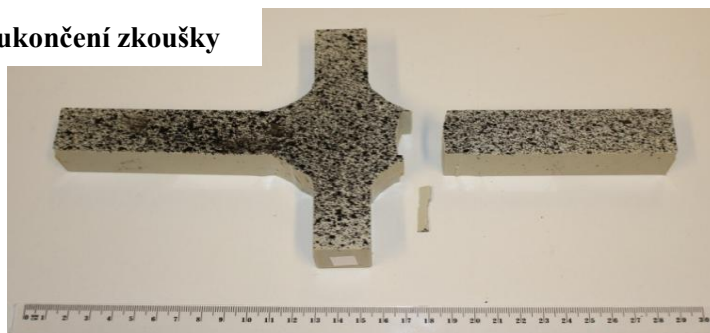
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	264,0	24,80	24,77	21,01	614,30

Schéma tělesa:

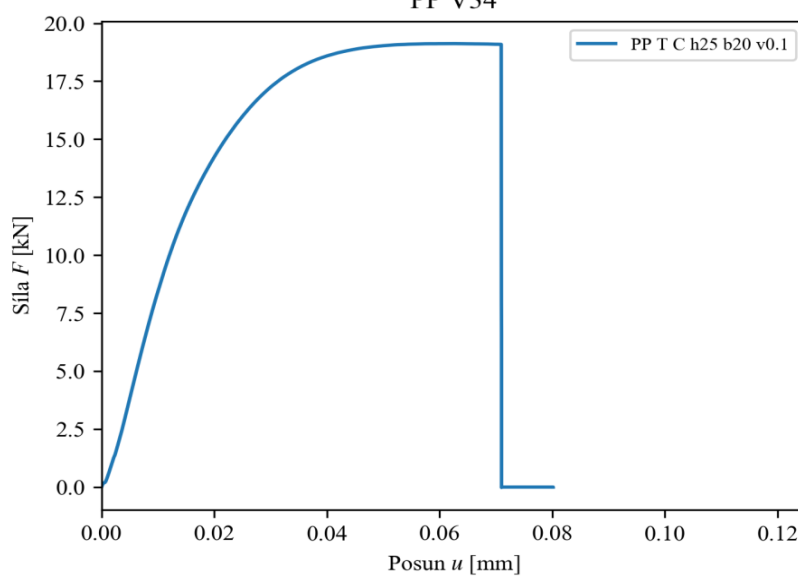


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	19,123	125,76	11,82

Těleso po ukončení zkoušky



PP V34

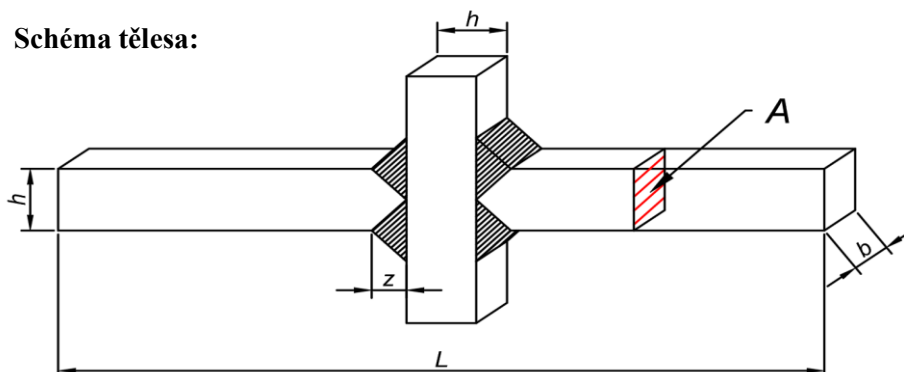


Zkušební těleso č. 35

PP T C h25 b25 v1.0

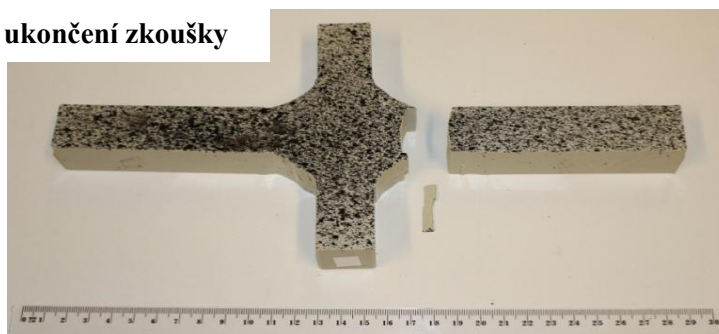
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	264,0	24,78	24,72	20,87	612,62

Schéma tělesa:

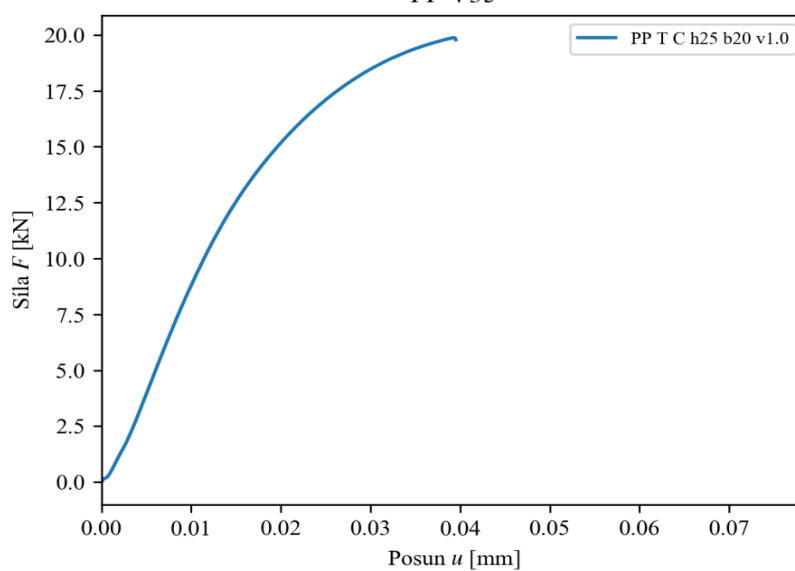


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	19,875	8,63	7,03

Těleso po ukončení zkoušky



PP V35

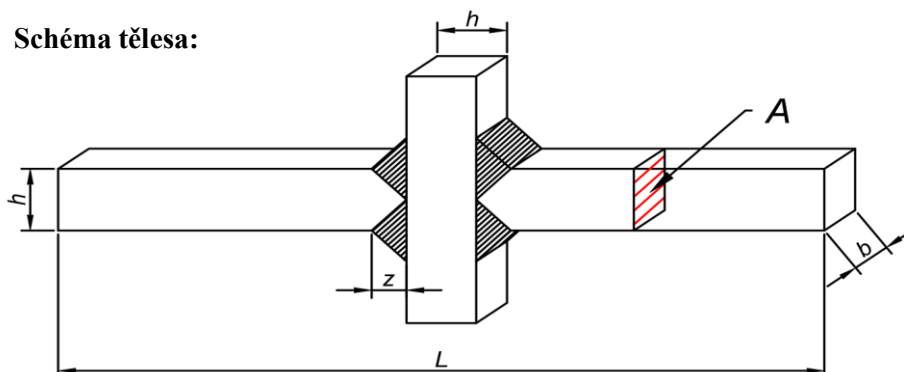


Zkušební těleso č. 36

PP T C h25 b25 v10.0

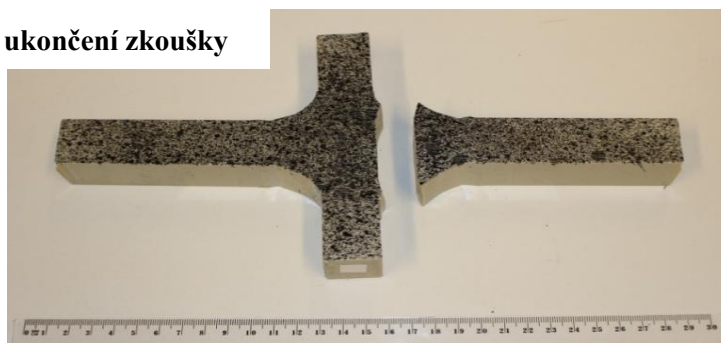
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	264,0	24,75	24,73	#REF!	612,07

Schéma tělesa:

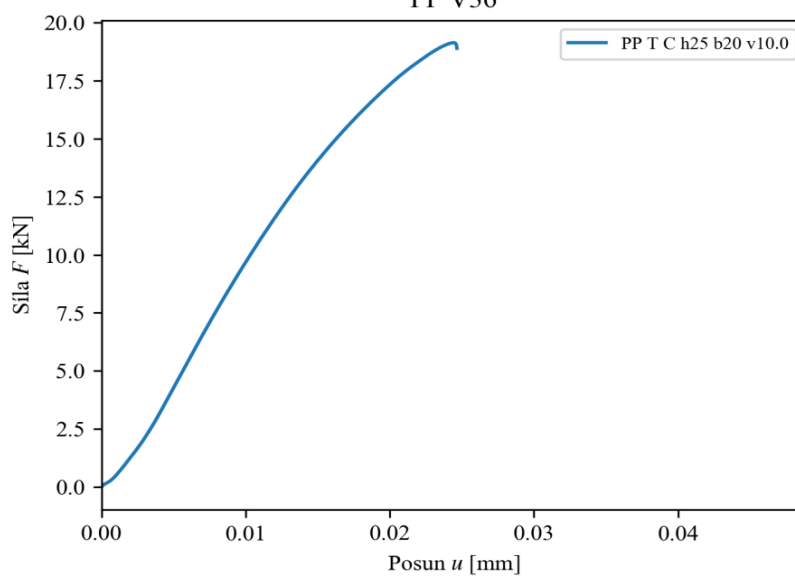


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	19,128	1,29	4,09

Těleso po ukončení zkoušky



PP V36

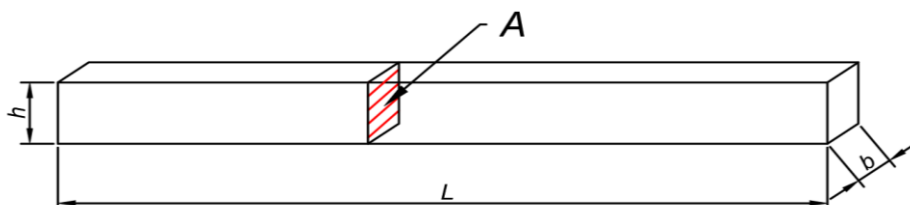


Zkušební těleso č. 37

PE T A h10 b20 v0.1

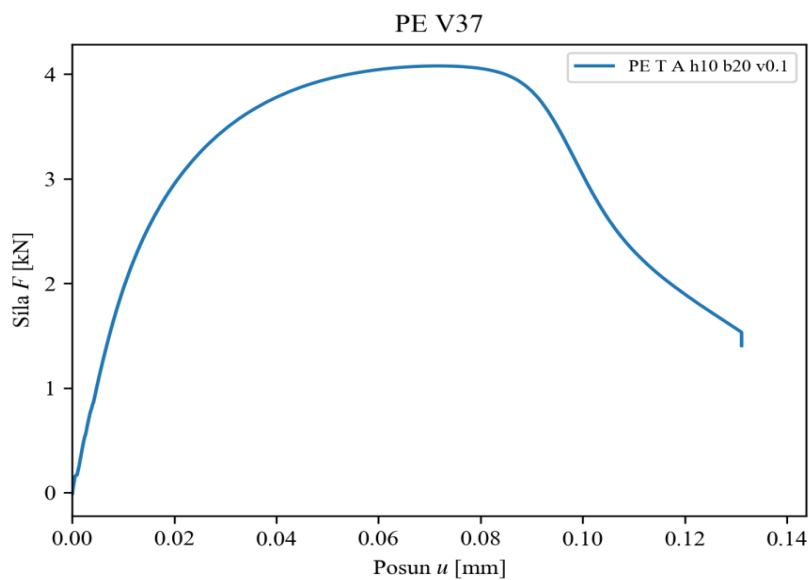
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	9,66	19,53	6,96	159,61

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	4,079	144,50	14,18

Těleso po ukončení zkoušky

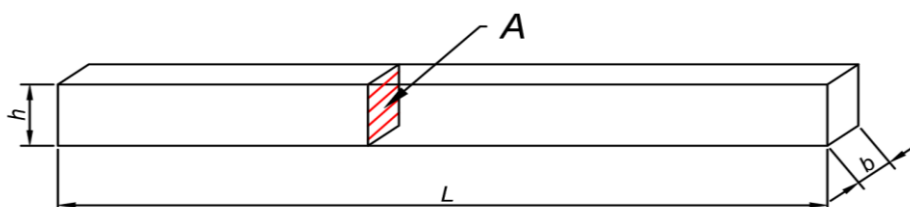


Zkušební těleso č. 38

PE T A h10 b20 v1.0

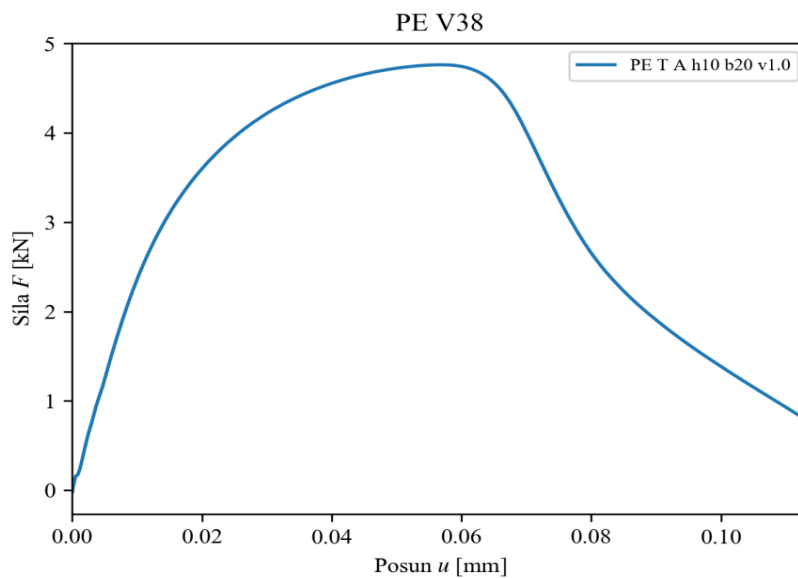
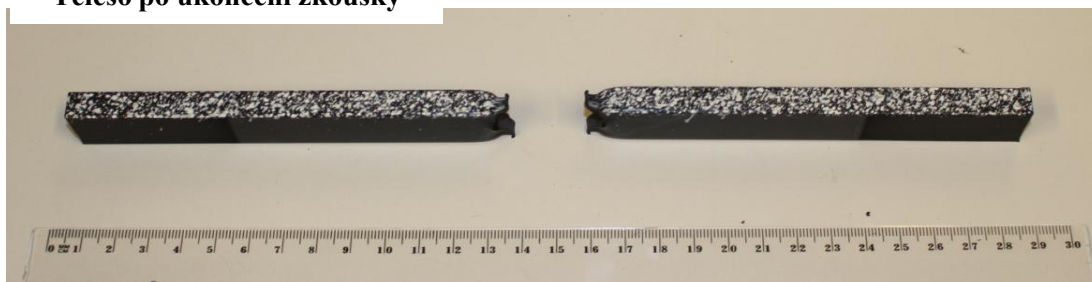
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	9,66	20,07	6,92	164,93

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	4,762	12,13	11,10

Těleso po ukončení zkoušky

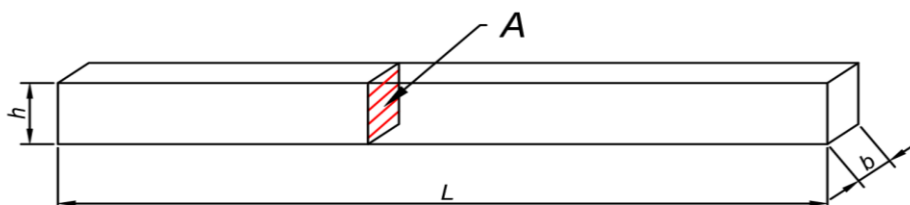


Zkušební těleso č. 39

PE T A h10 b20 v10.0

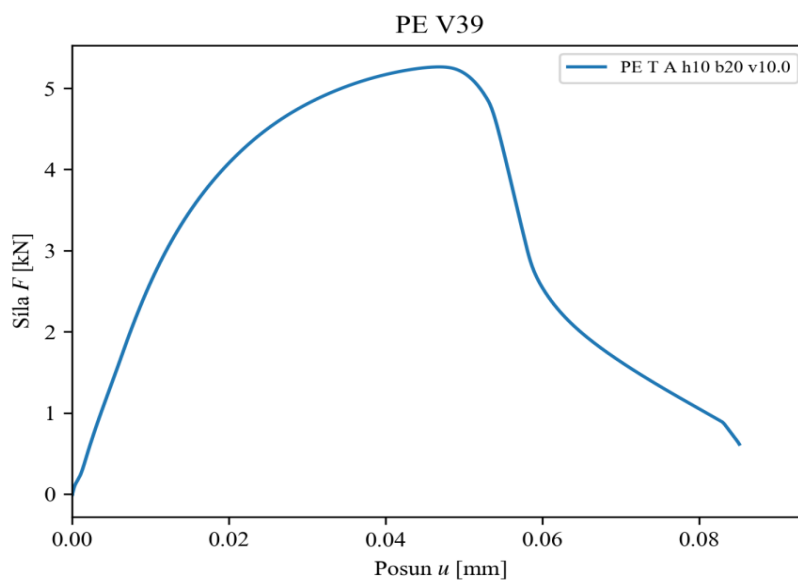
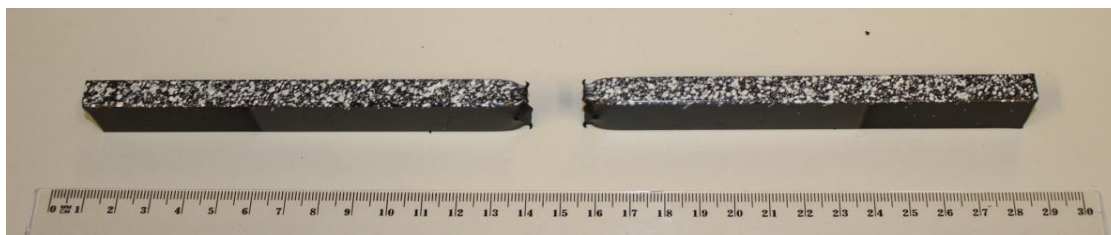
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	9,66	20,10	7,03	165,22

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	5,260	1,72	9,12

Těleso po ukončení zkoušky

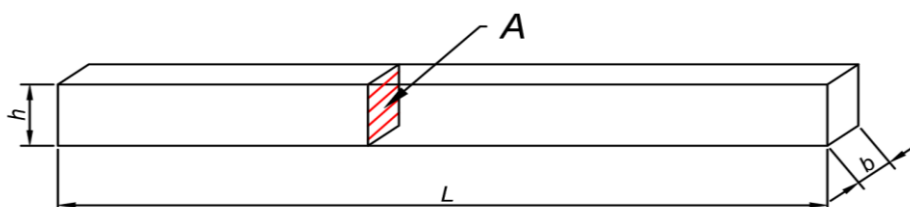


Zkušební těleso č. 40

PE T A h15 b20 v0.1

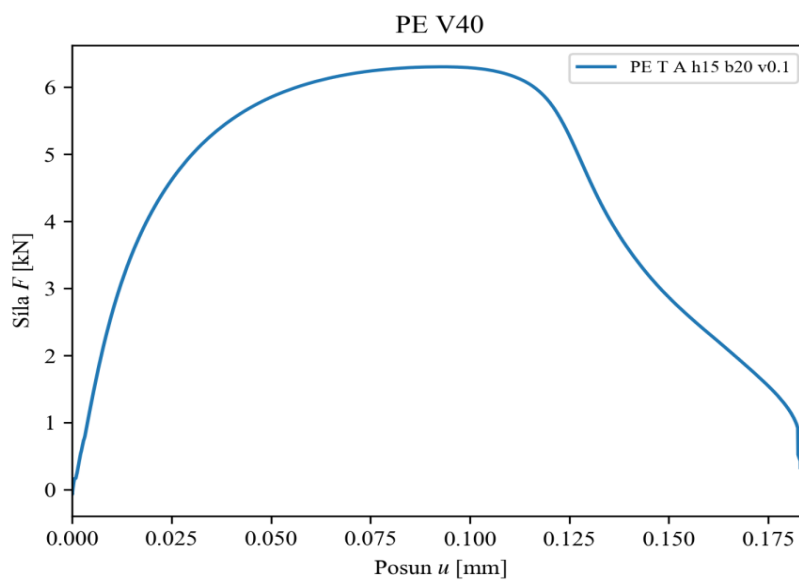
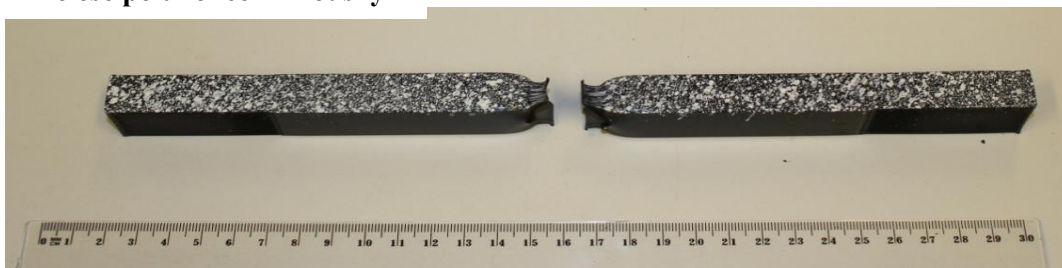
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	A	251,0	14,75	20,35	10,45	255,91

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Tah	0,1	6,305	185,63	18,20

Těleso po ukončení zkoušky

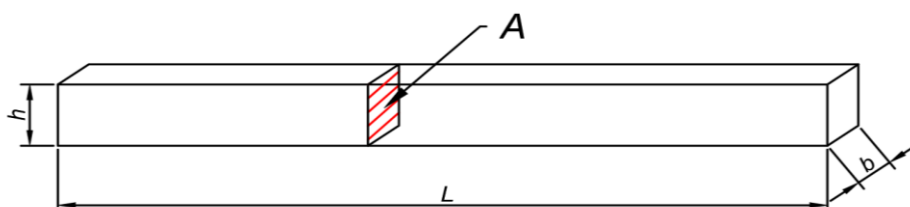


Zkušební těleso č. 41

PE T A h15 b20 v1.0

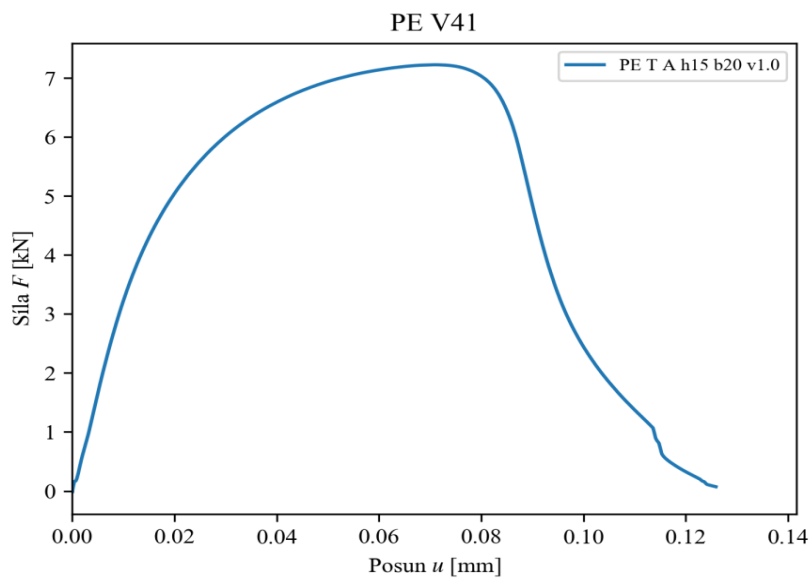
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	14,76	19,80	10,53	247,87

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	7,222	14,94	13,86

Těleso po ukončení zkoušky

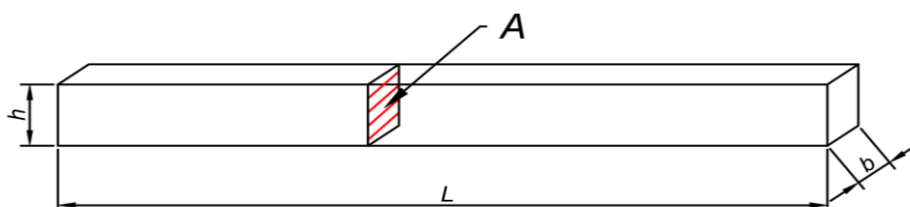


Zkušební těleso č. 42

PE T A h15 b20 v10.0

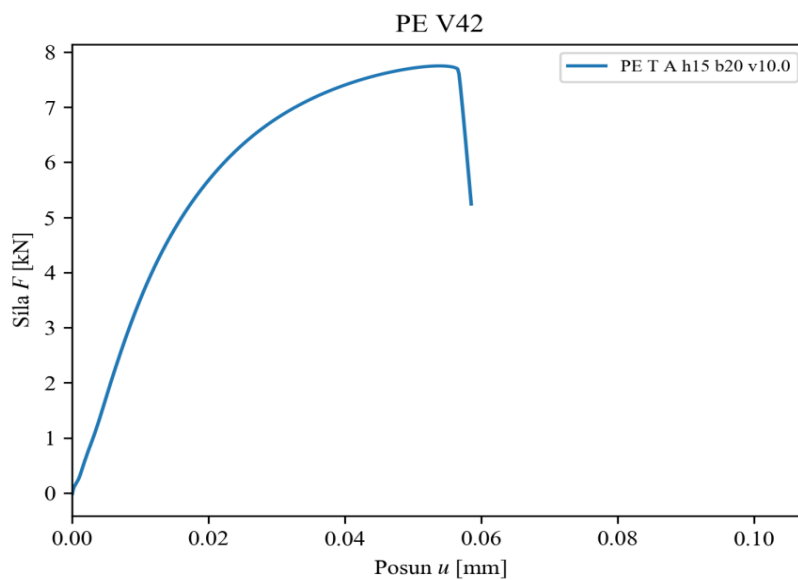
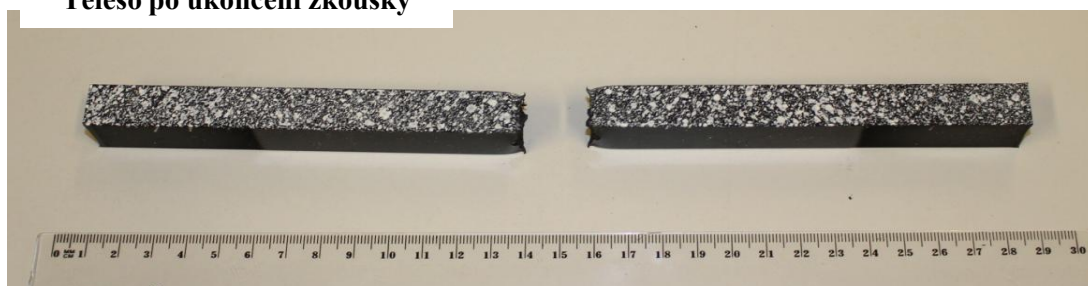
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	14,67	19,54	10,49	242,65

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	7,750	1,85	10,45

Těleso po ukončení zkoušky

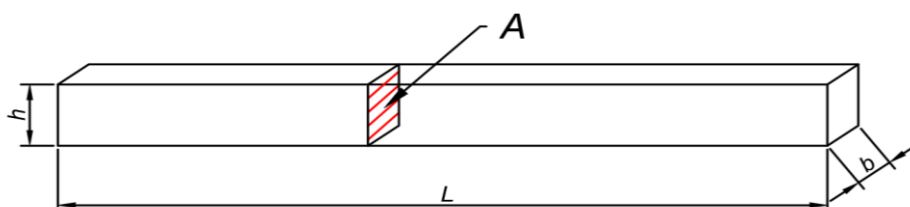


Zkušební těleso č. 43

PE T A h20 b20 v0.1

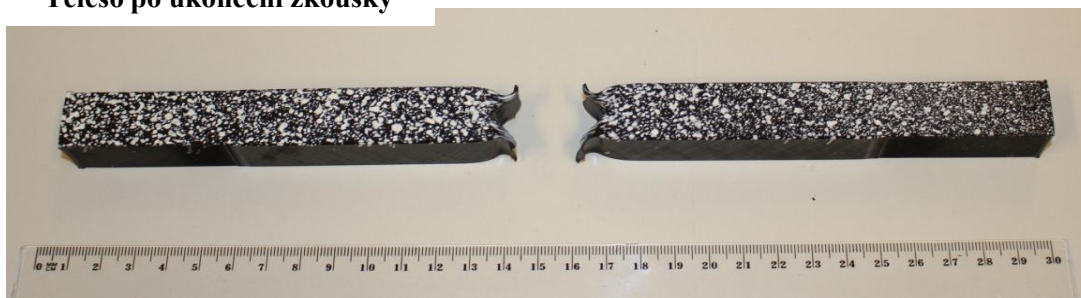
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	19,75	19,97	13,98	335,09

Schéma tělesa:

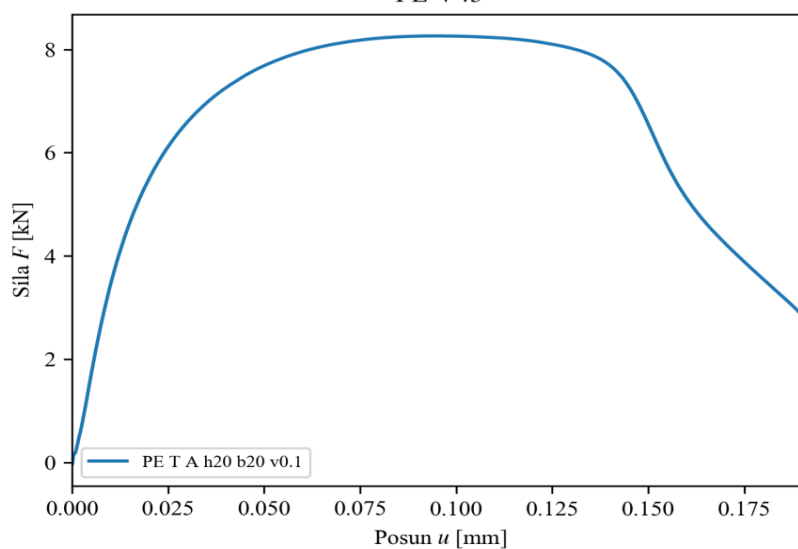


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	8,263	192,28	18,79

Těleso po ukončení zkoušky



PE V43

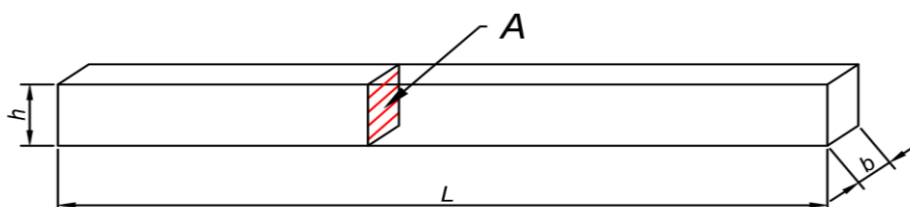


Zkušební těleso č. 44

PE T A h20 b20 v1.0

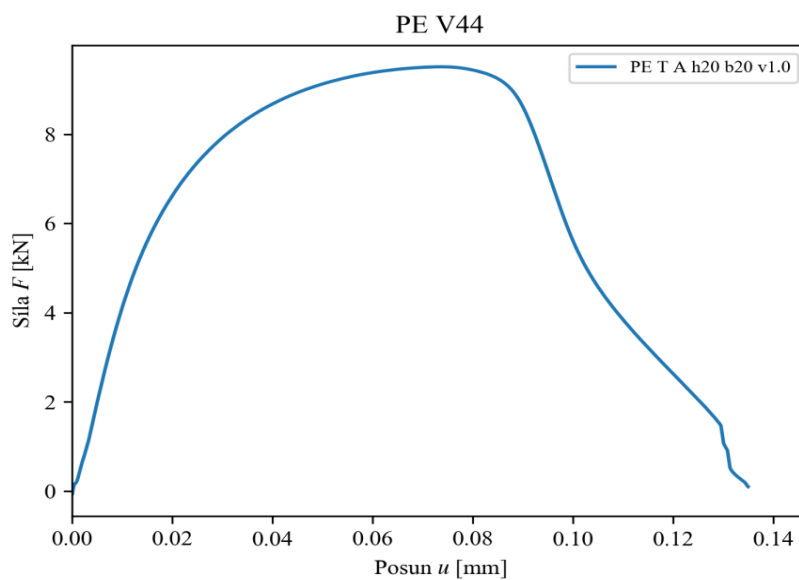
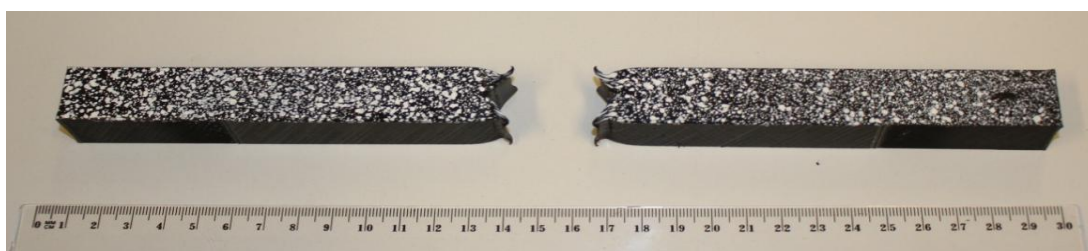
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	19,76	19,74	14,06	330,79

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	9,510	15,46	14,28

Těleso po ukončení zkoušky

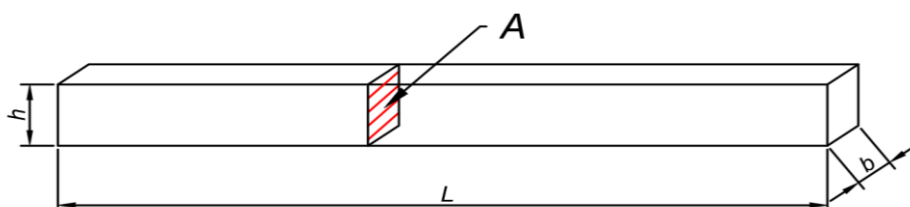


Zkušební těleso č. 45

PE T A h20 b20 v10.0

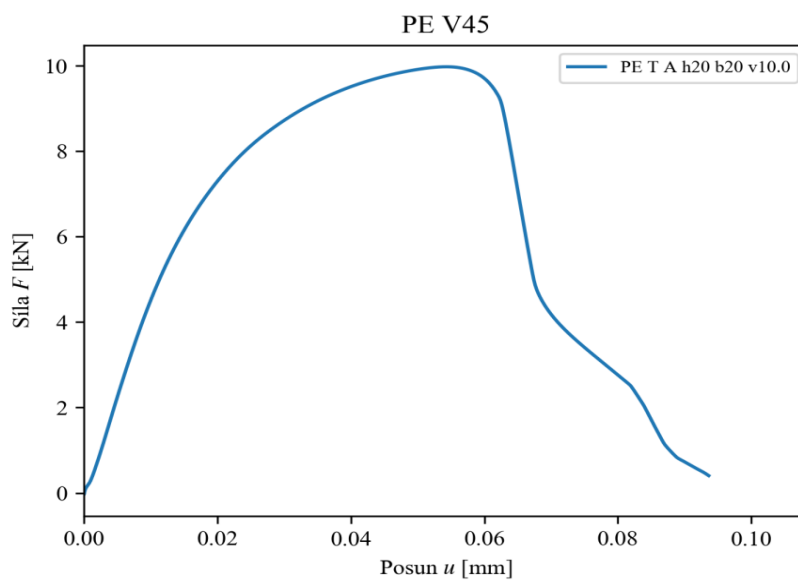
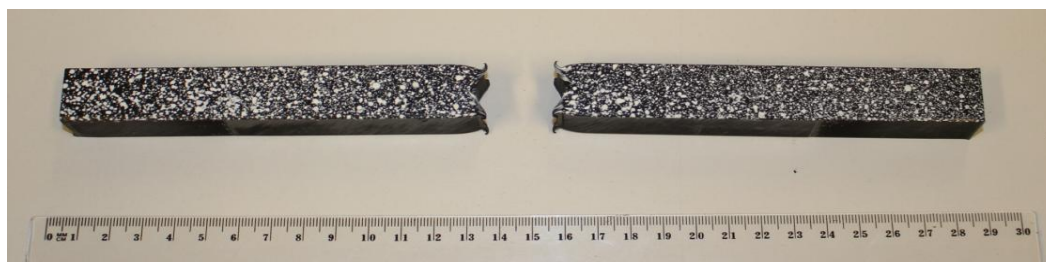
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	19,73	19,16	13,89	318,82

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	9,973	1,86	10,43

Těleso po ukončení zkoušky

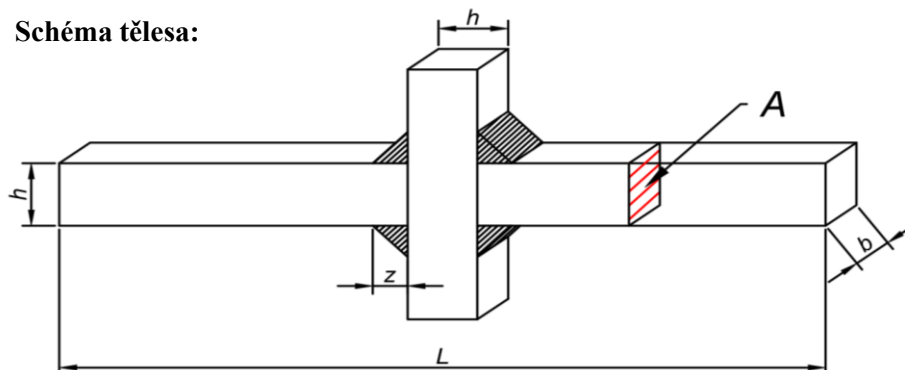


Zkušební těleso č. 46

PE T B h10 b20 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	251,5	9,72	19,53	6,96	189,86

Schéma tělesa:

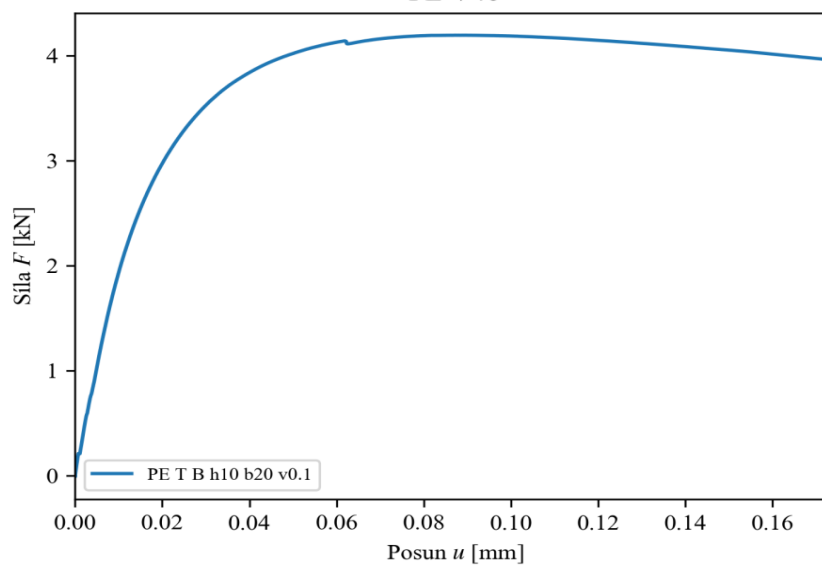


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	4,194	175,05	17,21

Těleso po ukončení zkoušky



PE V46

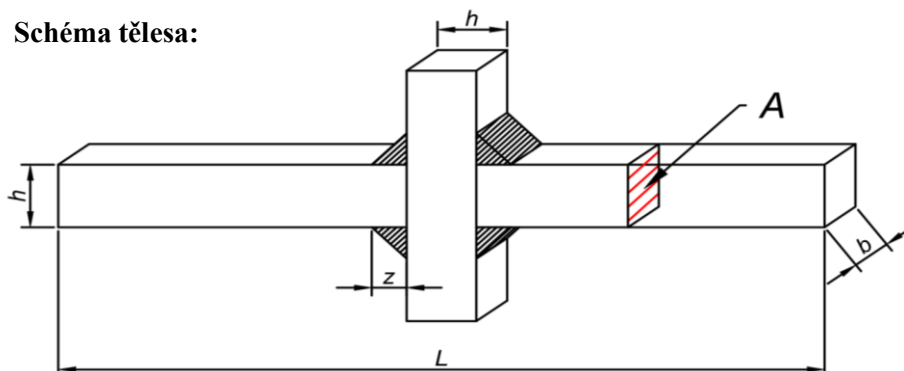


Zkušební těleso č. 47

PE T B h10 b20 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	251,5	9,73	20,08	6,92	195,38

Schéma tělesa:

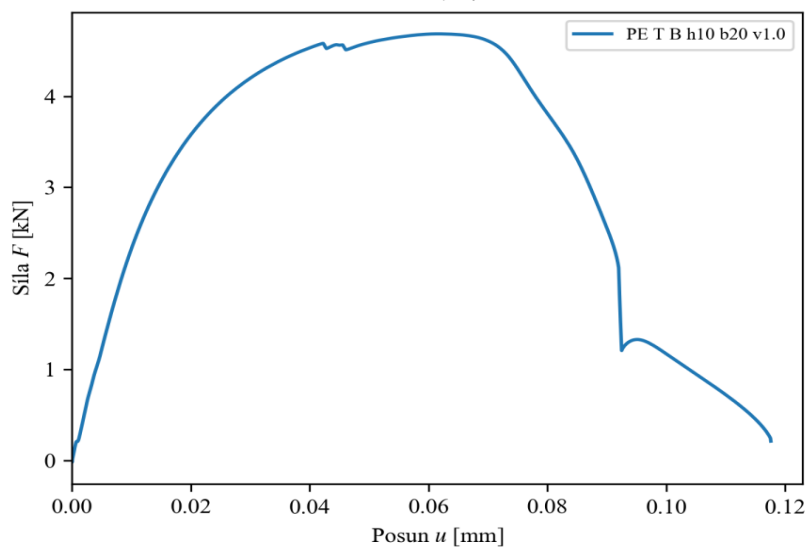


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	4,686	13,07	12,04

Těleso po ukončení zkoušky



PE V47

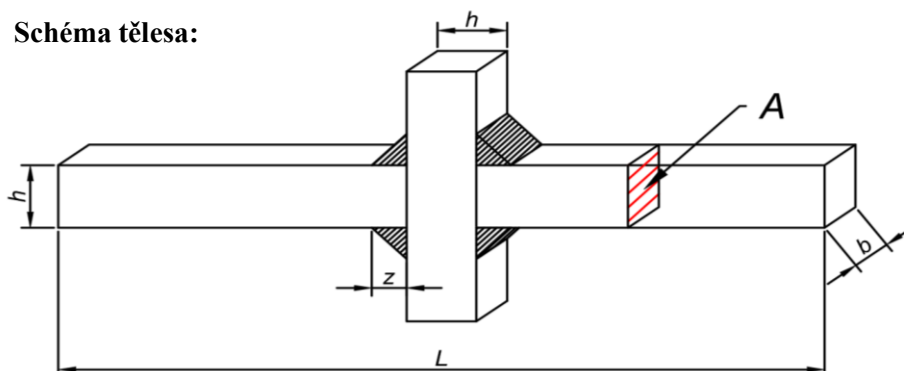


Zkušební těleso č. 48

PE T B h10 b20 v10.0

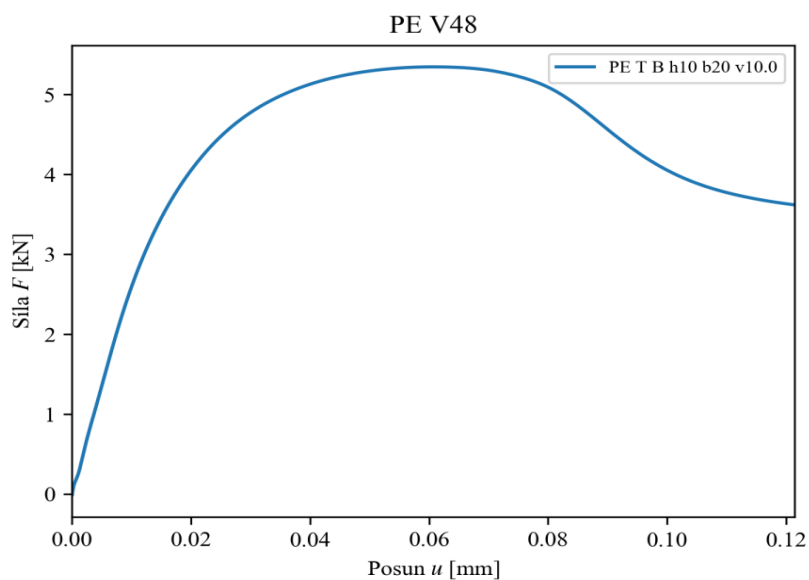
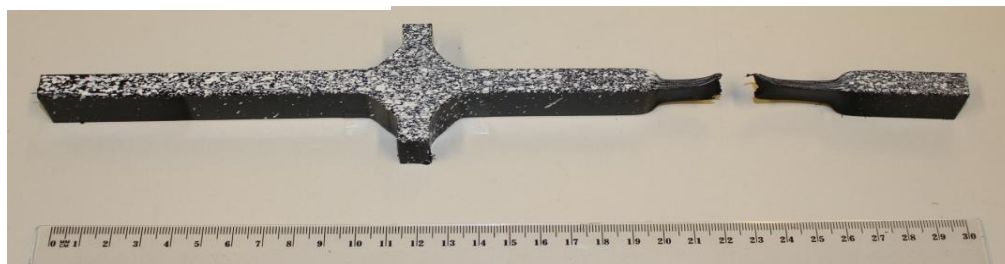
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	251,5	9,72	20,10	7,03	195,30

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	5,345	1,97	11,91

Těleso po ukončení zkoušky

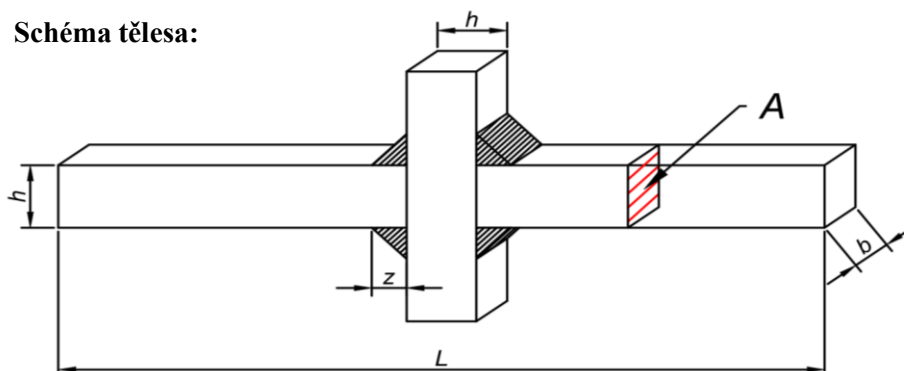


Zkušební těleso č. 49

PE T B h15 b20 v0.1

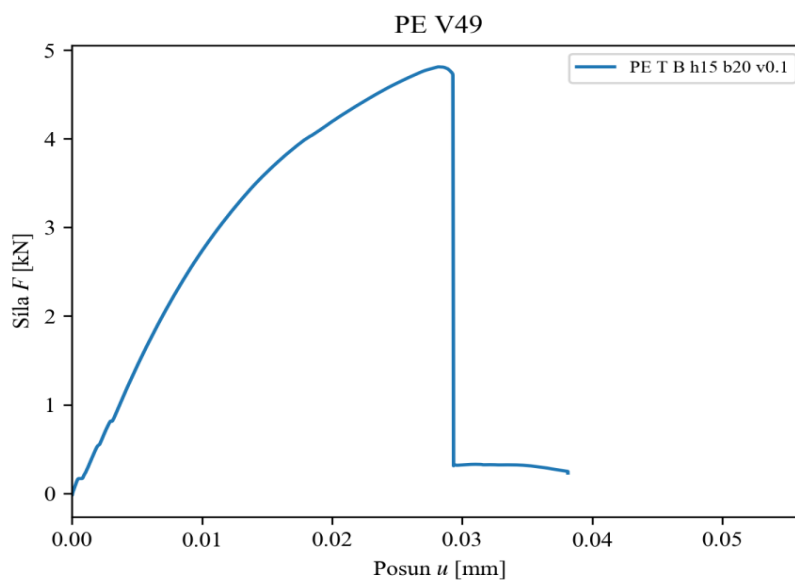
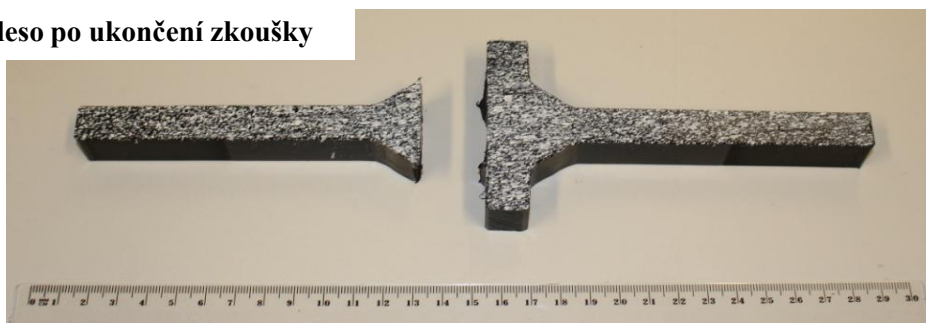
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	255,0	14,76	20,36	10,45	300,48

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	4,811	57,18	5,36

Těleso po ukončení zkoušky

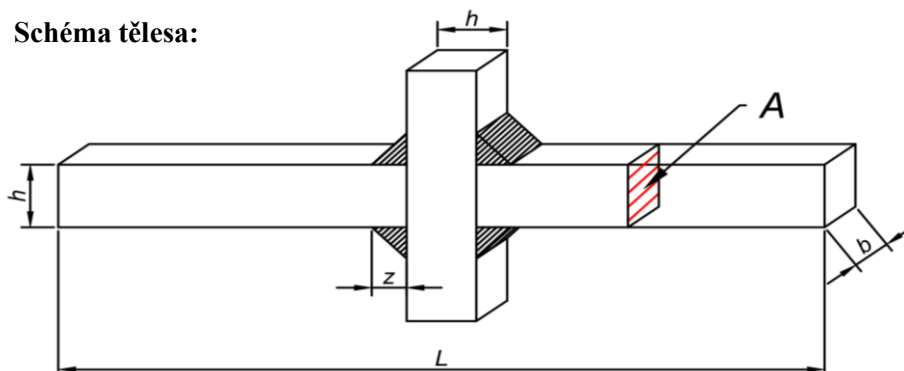


Zkušební těleso č. 50

PE T B h15 b20 v1.0

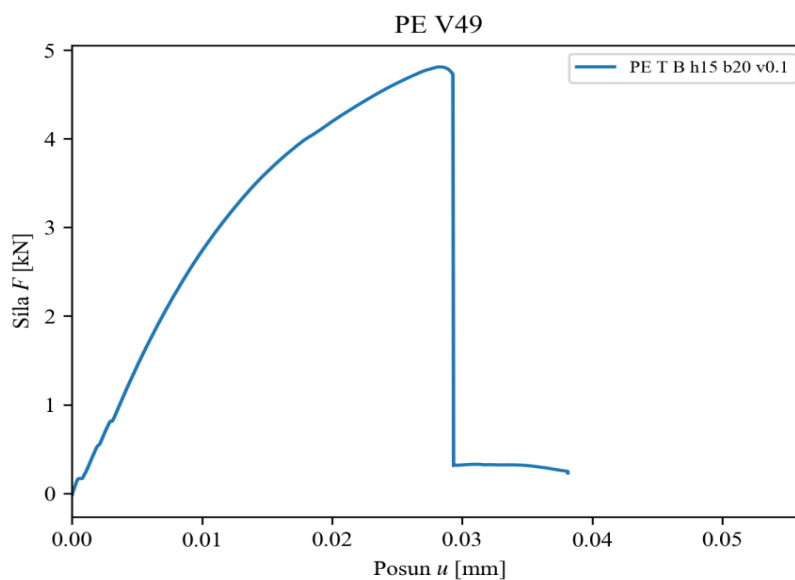
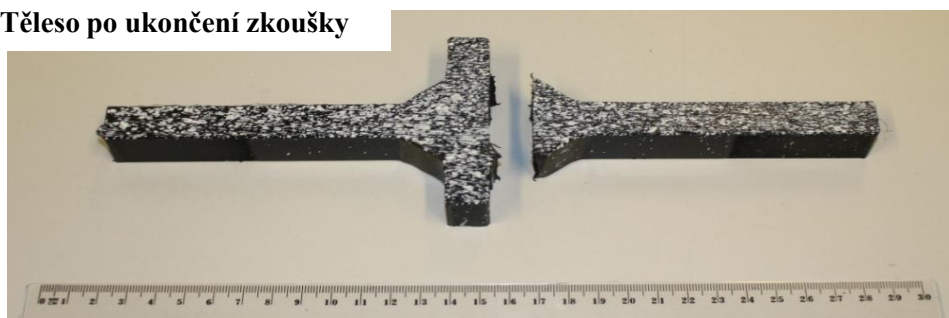
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	B	255,0	14,76	19,81	10,53	292,40

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Tah	1	6,970	10,71	9,60

Těleso po ukončení zkoušky

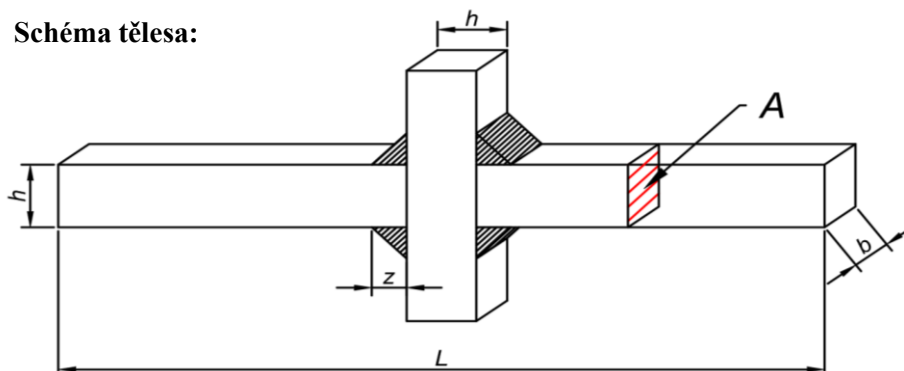


Zkušební těleso č. 51

PE T B h15 b20 v10.0

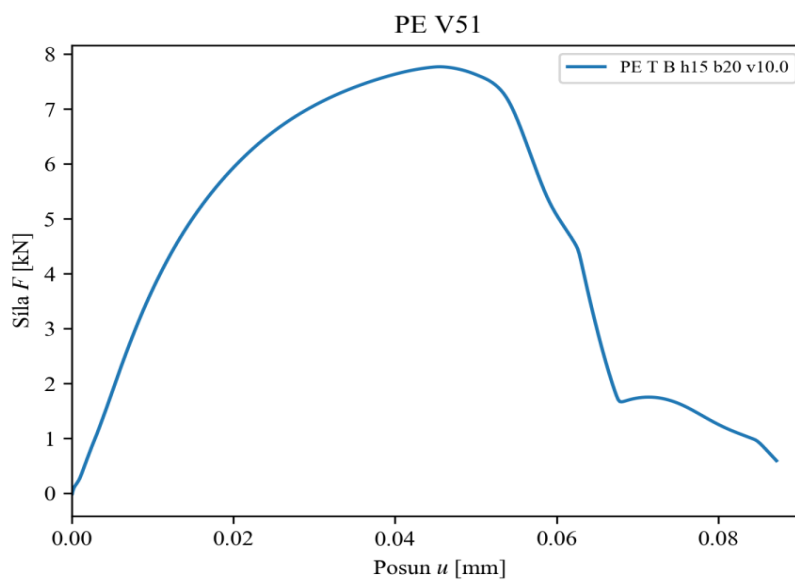
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	255,0	14,70	19,49	10,49	286,51

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	7,770	1,67	8,73

Těleso po ukončení zkoušky

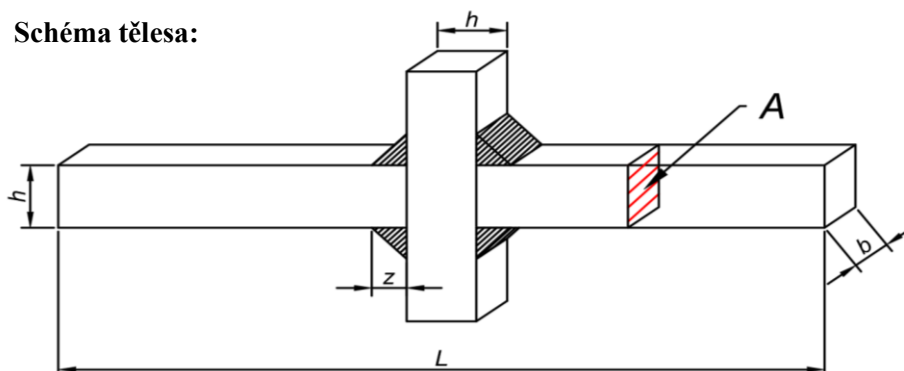


Zkušební těleso č. 52

PE T B h20 b20 v0.1

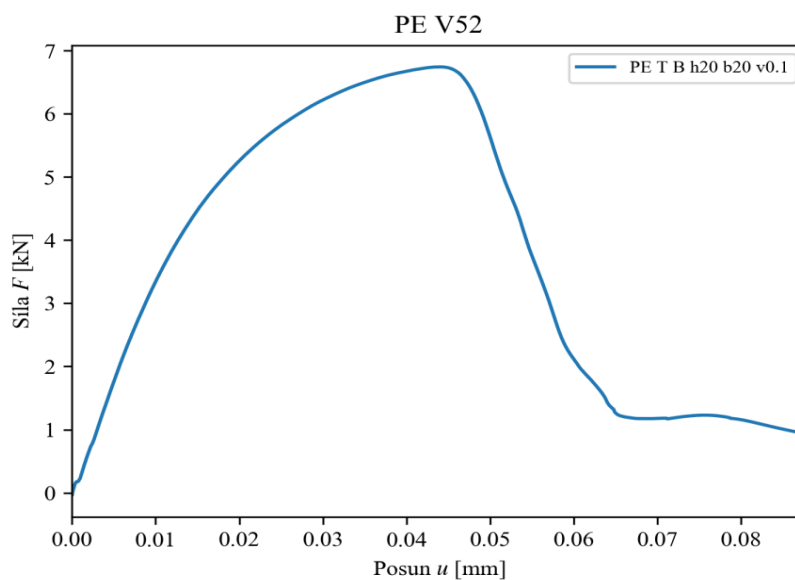
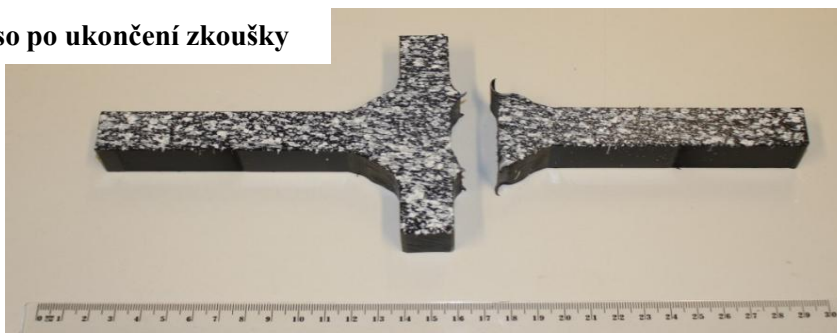
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	260,0	19,80	19,97	13,98	395,31

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	6,739	88,50	8,43

Těleso po ukončení zkoušky

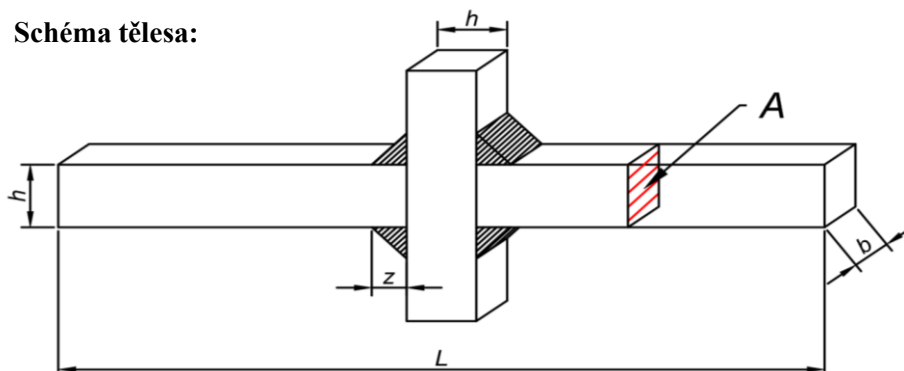


Zkušební těleso č. 53

PE T B h20 b20 v1.0

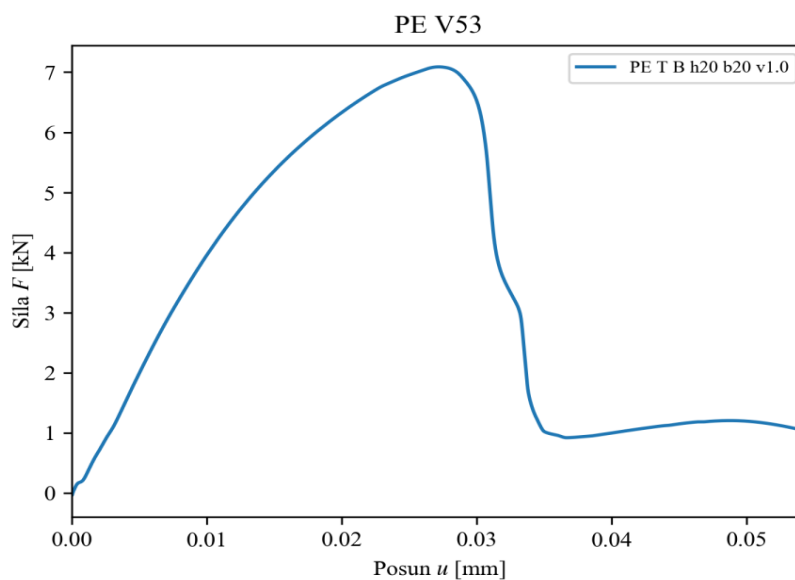
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	260,0	19,77	19,75	14,06	390,26

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	7,088	6,22	5,08

Těleso po ukončení zkoušky

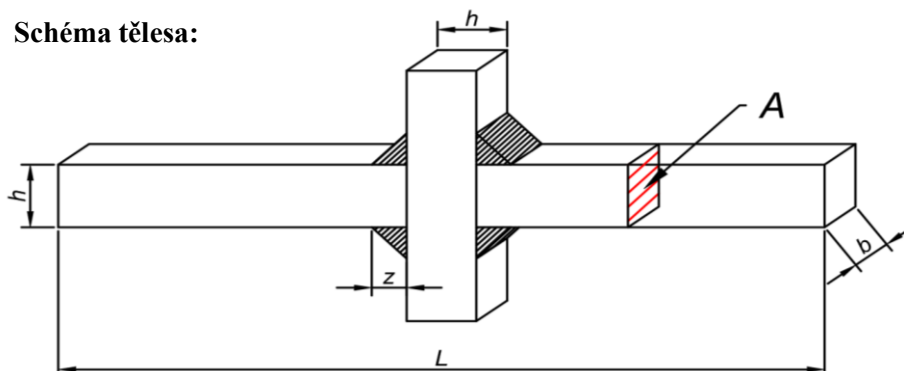


Zkušební těleso č. 54

PE T B h20 b20 v10.0

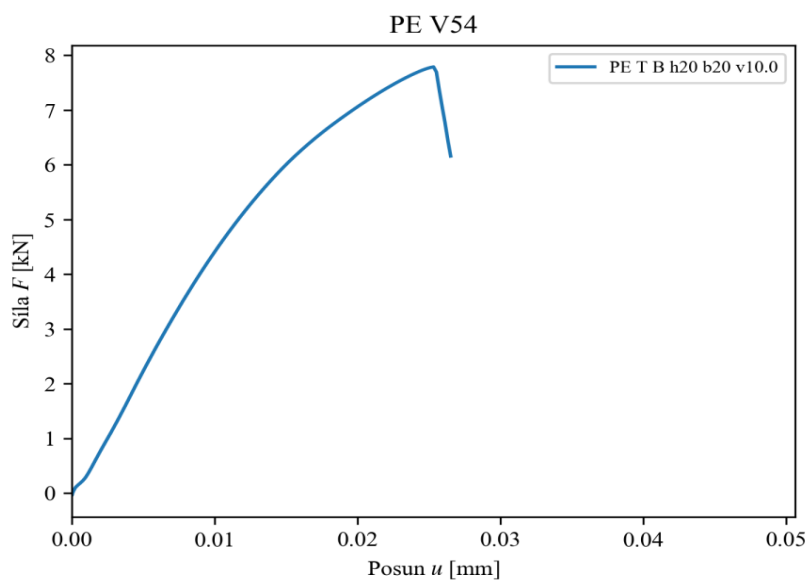
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	260,0	19,76	19,17	13,89	378,70

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	7,787	1,28	4,70

Těleso po ukončení zkoušky

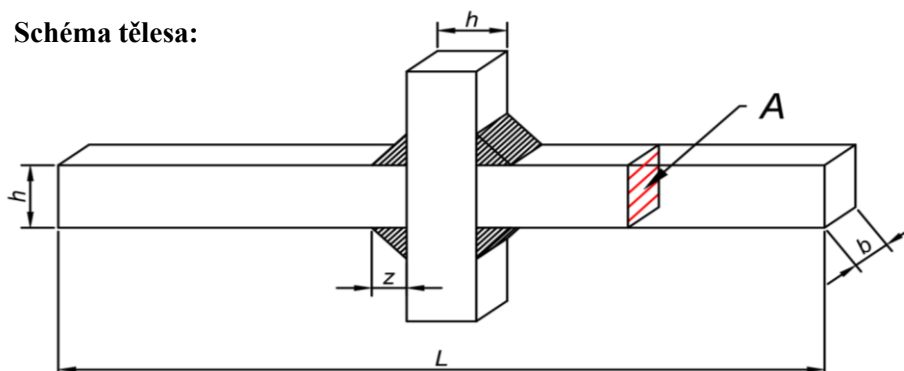


Zkušební těleso č. 55

PE T B h25 b25 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	265,0	24,86	24,80	21,04	616,47

Schéma tělesa:

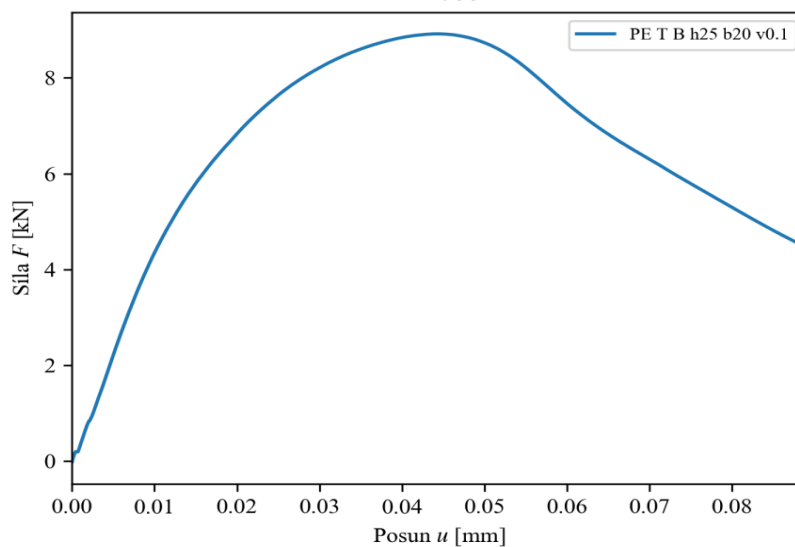


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Tah	0,1	8,918	89,68	8,11

Těleso po ukončení zkoušky



PE V55

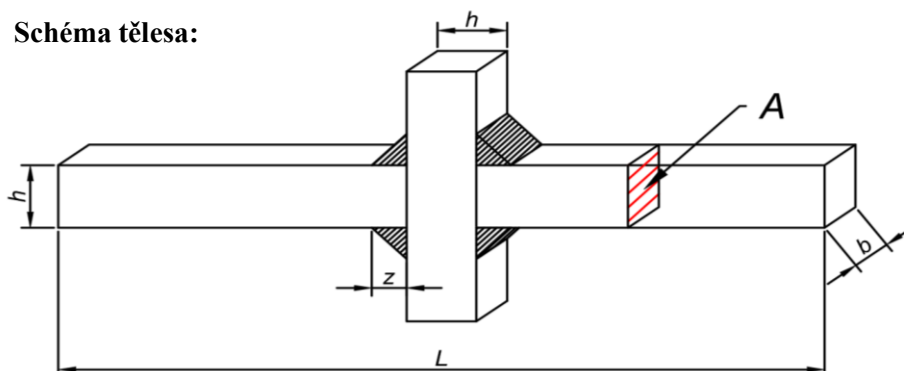


Zkušební těleso č. 56

PE T B h25 b25 v1.0

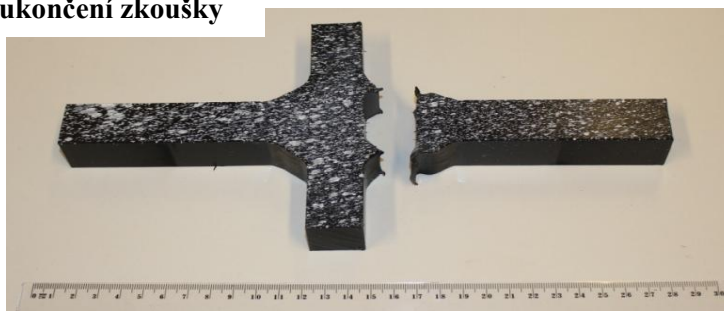
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	265,0	24,79	24,77	20,90	613,92

Schéma tělesa:

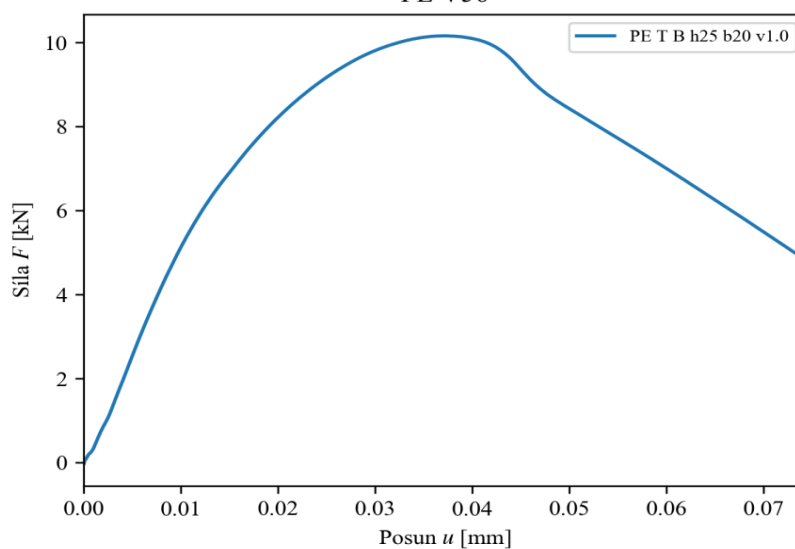


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	10,153	8,33	7,03

Těleso po ukončení zkoušky



PE V56

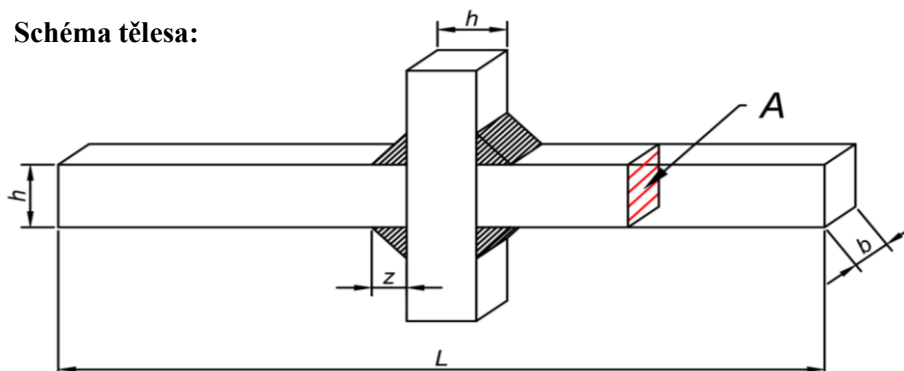


Zkušební těleso č. 57

PE T B h25 b25 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	265,0	24,82	24,77	#REF!	614,79

Schéma tělesa:

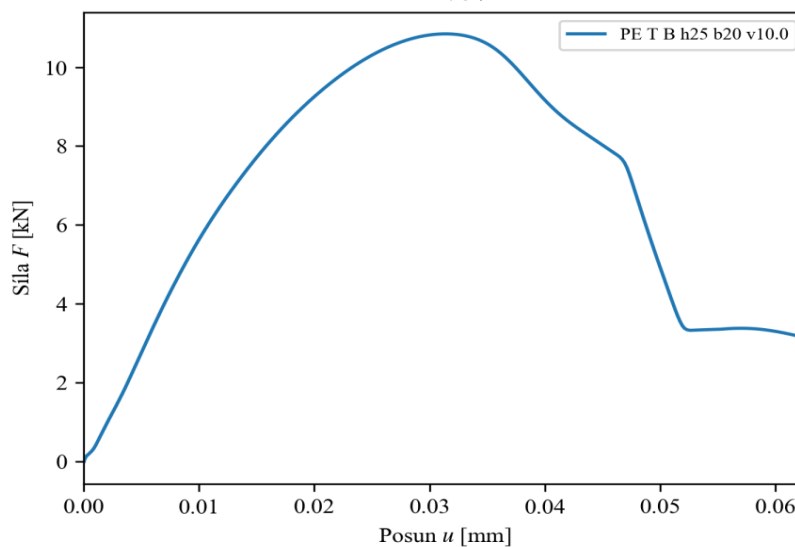


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Tah	10	10,846	1,40	5,93

Těleso po ukončení zkoušky



PE V57

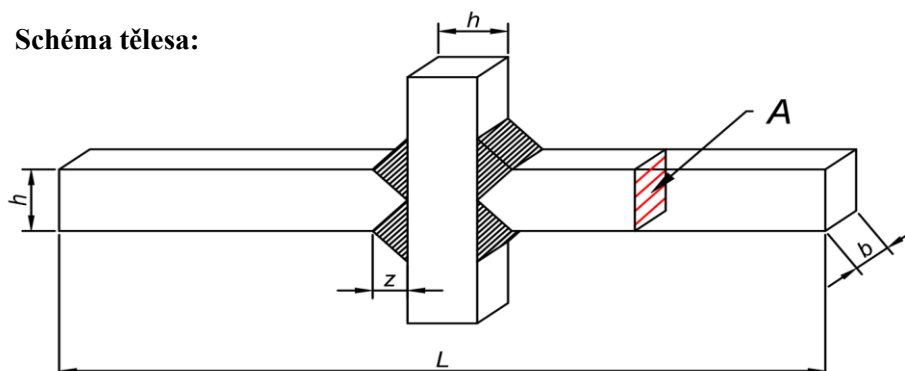


Zkušební těleso č. 58

PE T C h10 b20 v0.1

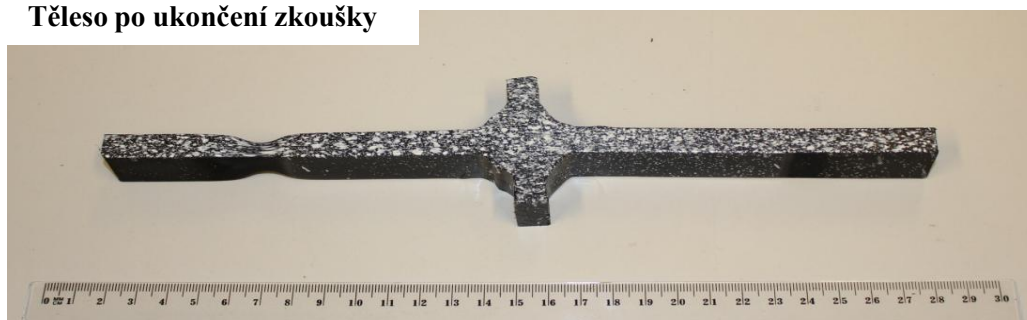
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	249,5	9,72	19,53	6,92	189,81

Schéma tělesa:

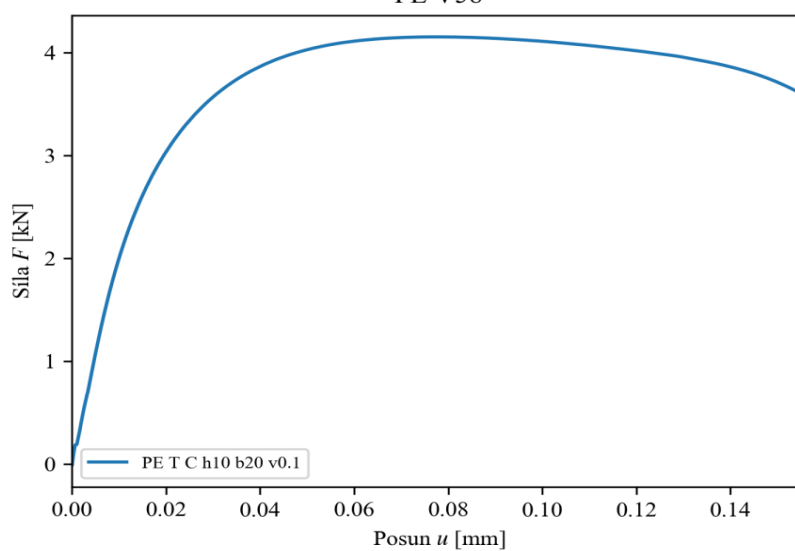


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	4,153	156,78	15,60

Těleso po ukončení zkoušky



PE V58

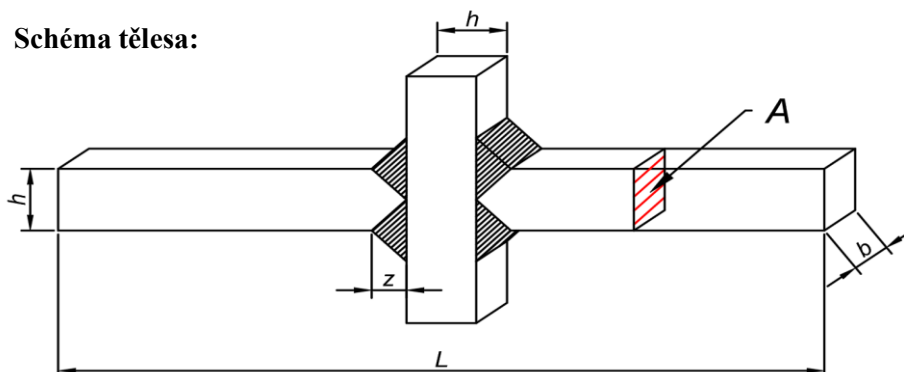


Zkušební těleso č. 59

PE T C h10 b20 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	249,5	9,76	20,05	6,88	195,56

Schéma tělesa:

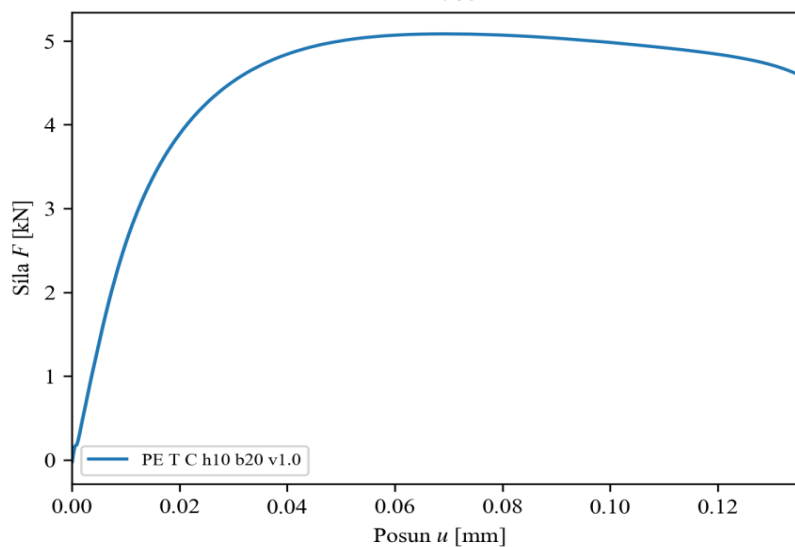


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	5,084	14,41	13,99

Těleso po ukončení zkoušky



PE V59

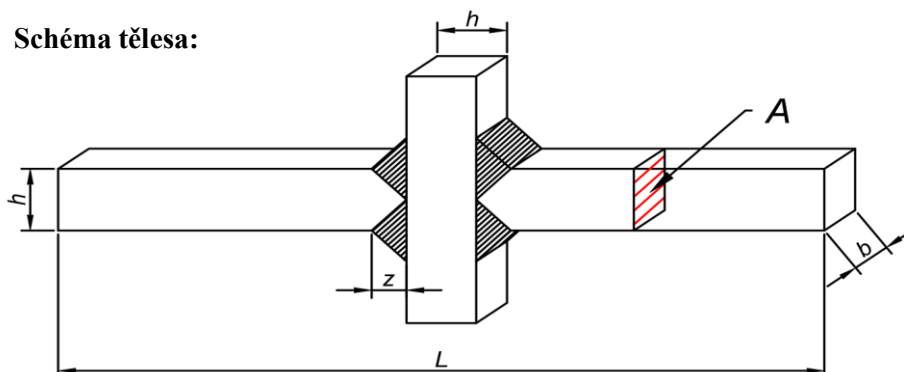


Zkušební těleso č. 60

PE T C h10 b20 v10.0

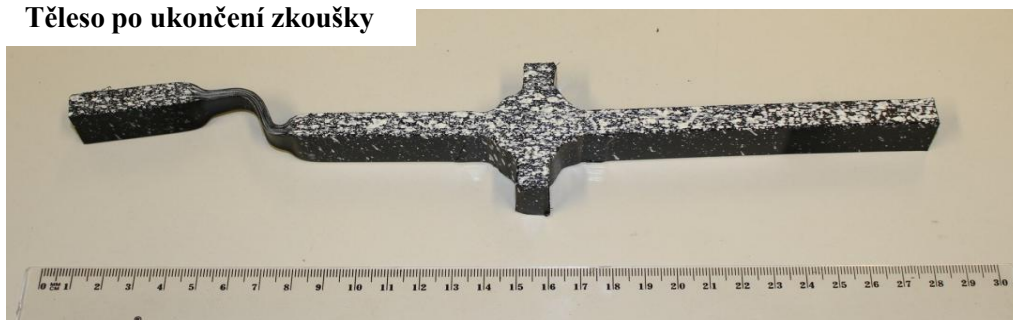
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	249,5	9,74	20,07	6,99	195,38

Schéma tělesa:

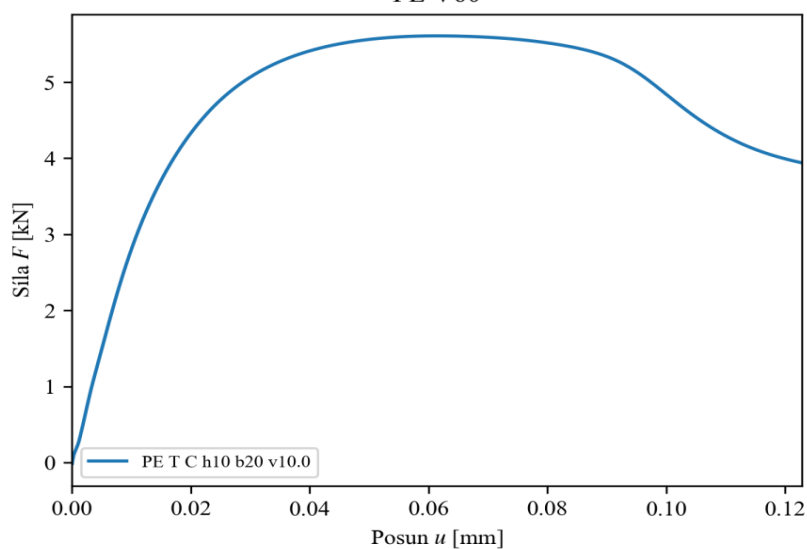


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	5,606	2,00	12,28

Těleso po ukončení zkoušky



PE V60

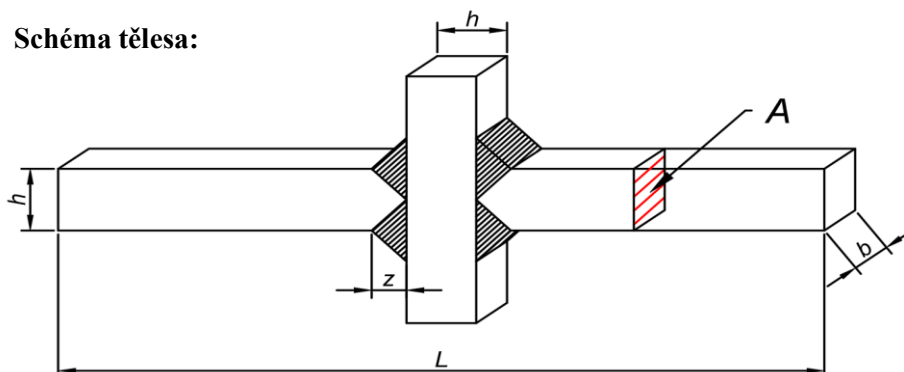


Zkušební těleso č. 61

PE T C h15 b20 v0.1

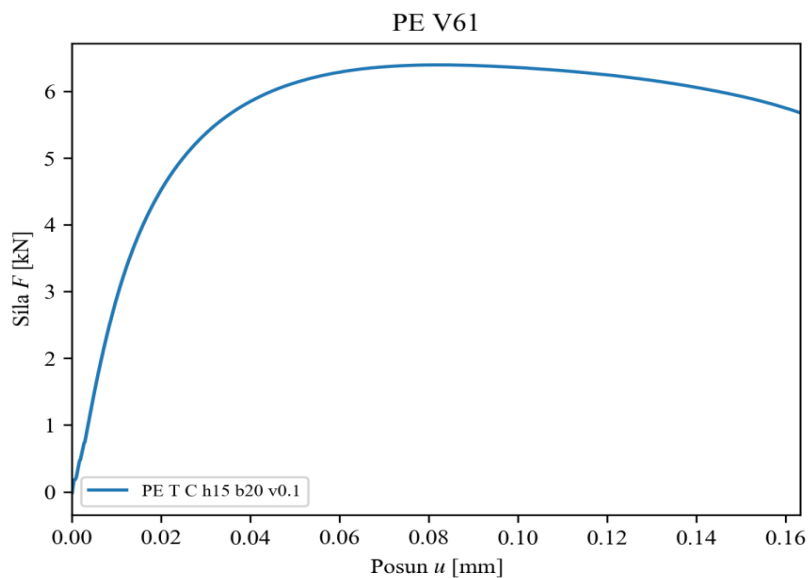
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	254,0	14,75	20,39	10,41	300,79

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	6,392	164,14	16,08

Těleso po ukončení zkoušky

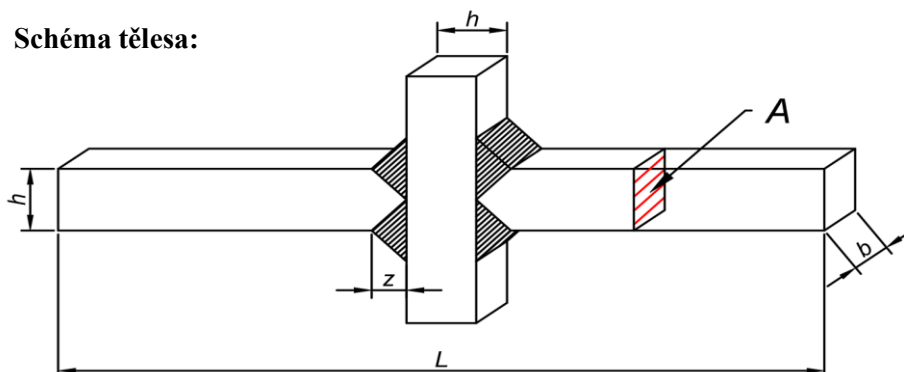


Zkušební těleso č. 62

PE T C h15 b20 v1.0

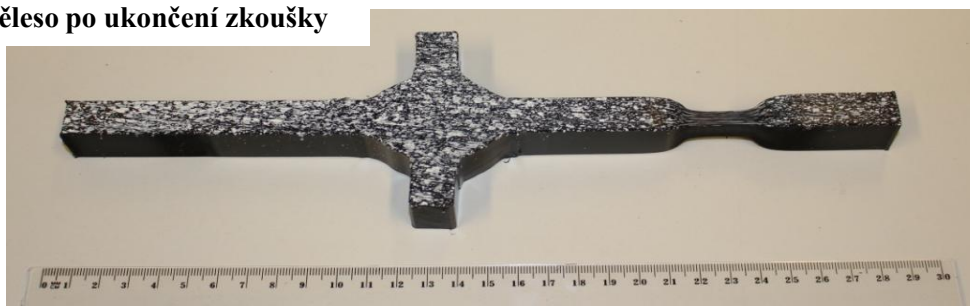
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	254,0	14,76	19,80	10,49	292,11

Schéma tělesa:

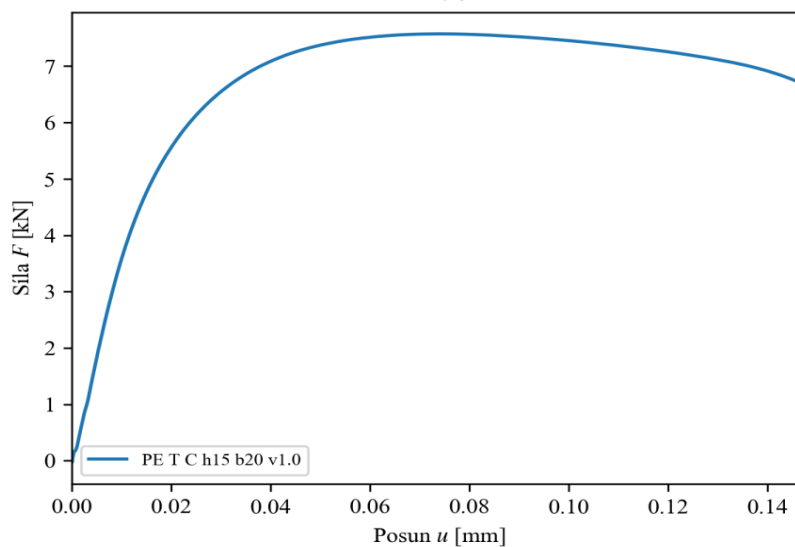


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	7,571	15,55	14,49

Těleso po ukončení zkoušky



PE V62

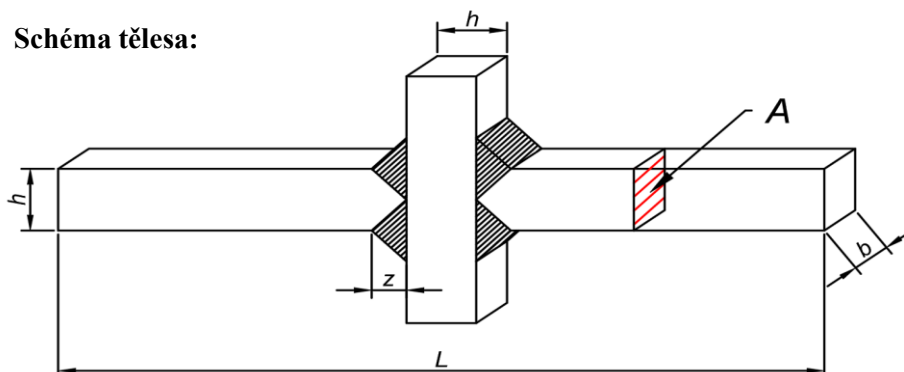


Zkušební těleso č. 63

PE T C h15 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	254,0	14,70	19,51	10,45	286,71

Schéma tělesa:

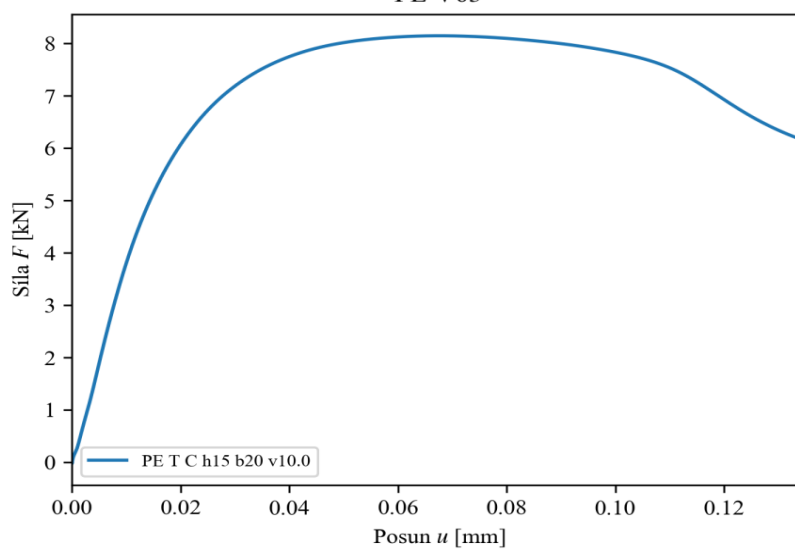


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	8,149	2,12	13,19

Těleso po ukončení zkoušky



PE V63

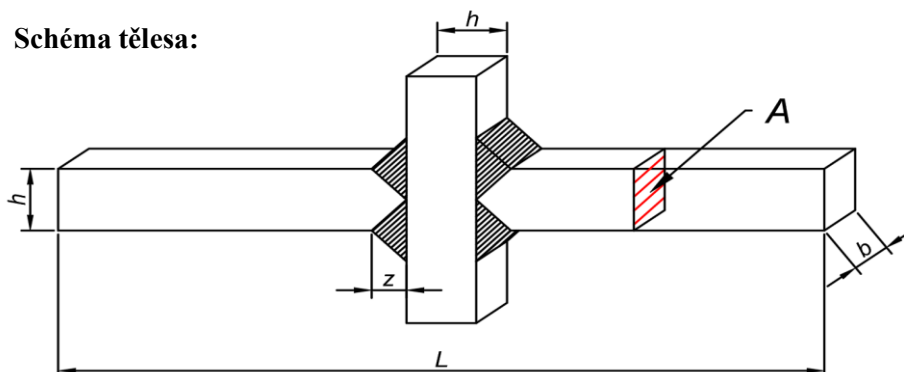


Zkušební těleso č. 64

PE T C h20 b20 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	259,0	19,76	19,92	13,94	393,57

Schéma tělesa:

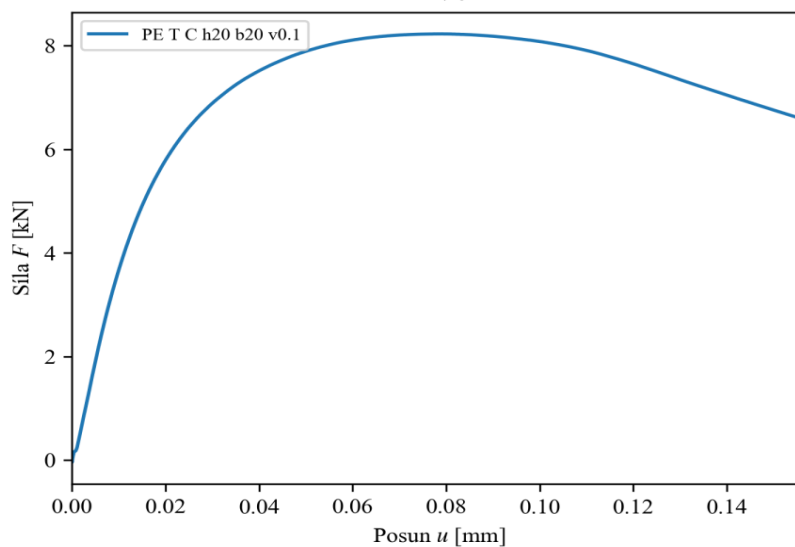


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	8,227	157,60	15,30

Těleso po ukončení zkoušky



PE V64

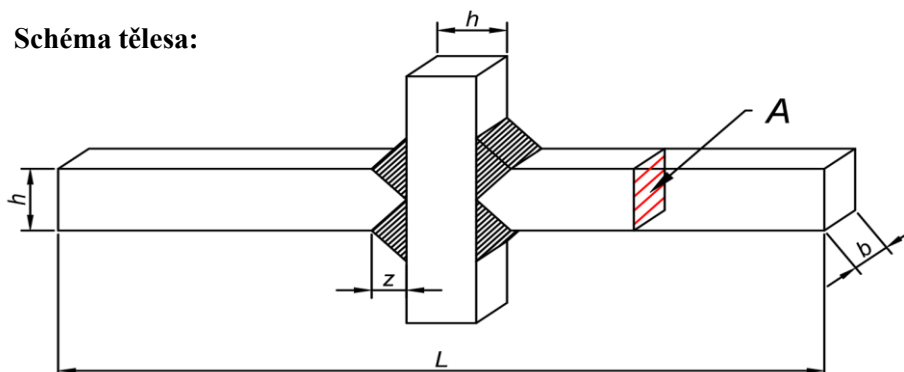


Zkušební těleso č. 65

PE T C h20 b20 v1.0

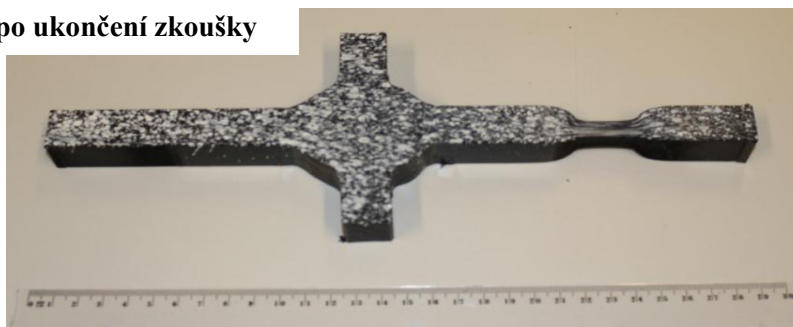
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	259,0	19,82	19,67	14,02	389,66

Schéma tělesa:

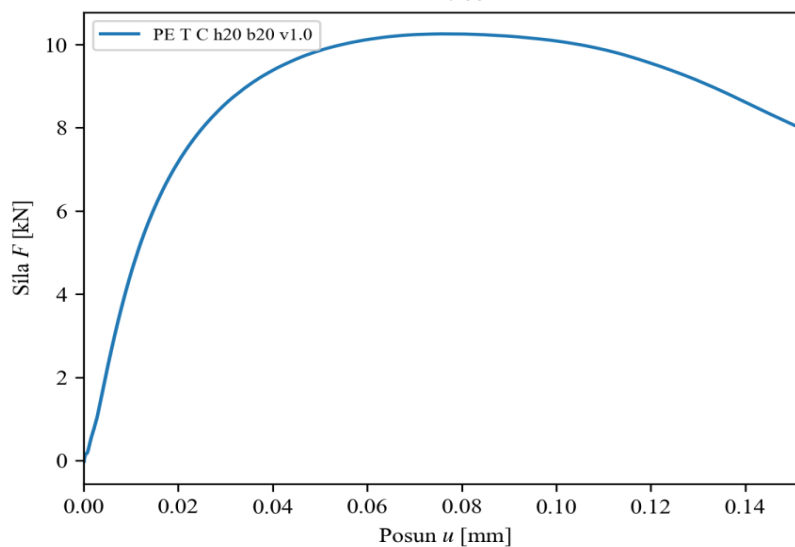


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	10,250	16,06	14,86

Těleso po ukončení zkoušky



PE V65

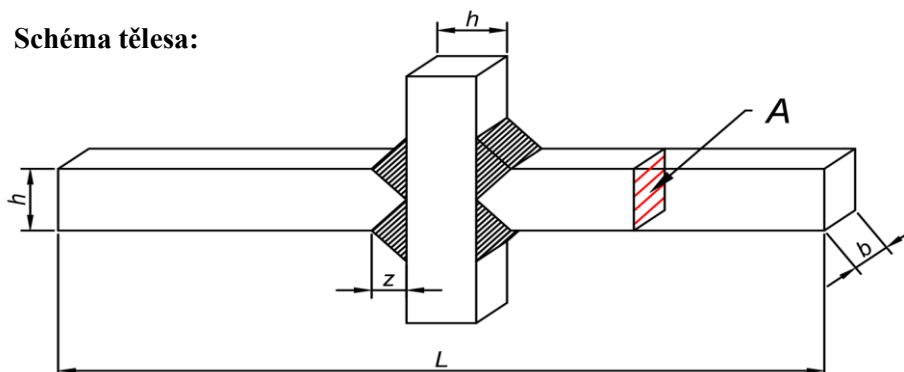


Zkušební těleso č. 66

PE T C h20 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	259,0	19,80	19,01	13,85	376,35

Schéma tělesa:

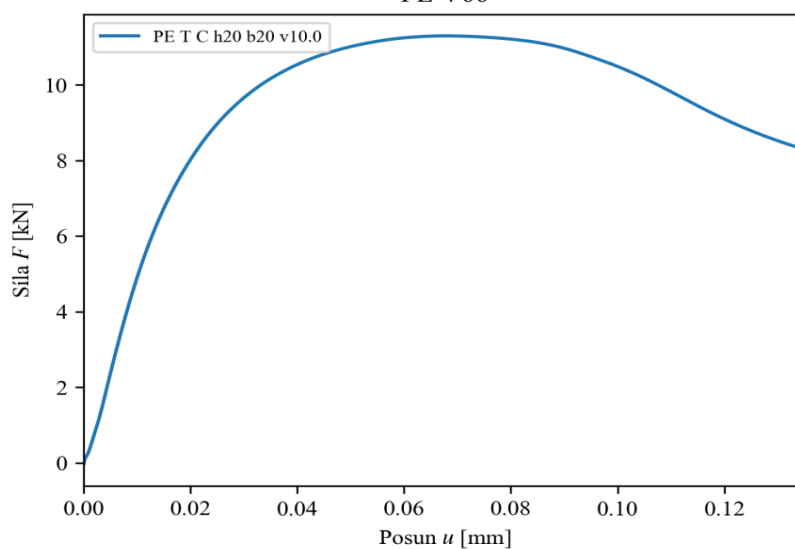


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	11,296	2,14	13,07

Těleso po ukončení zkoušky



PE V66

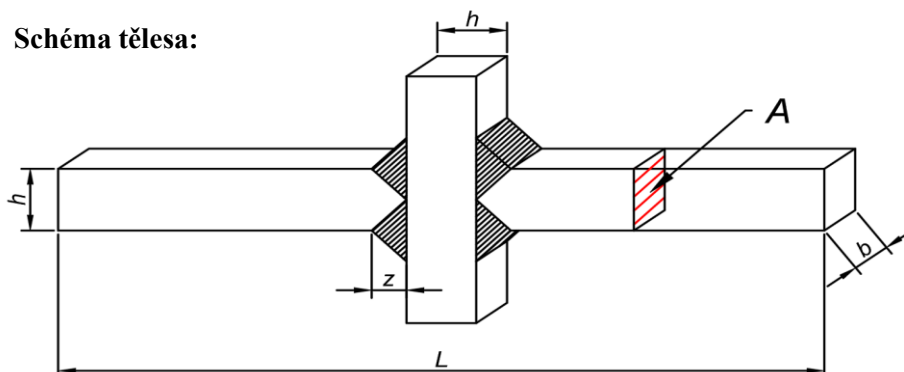


Zkušební těleso č. 67

PE T C h25 b25 v0.1

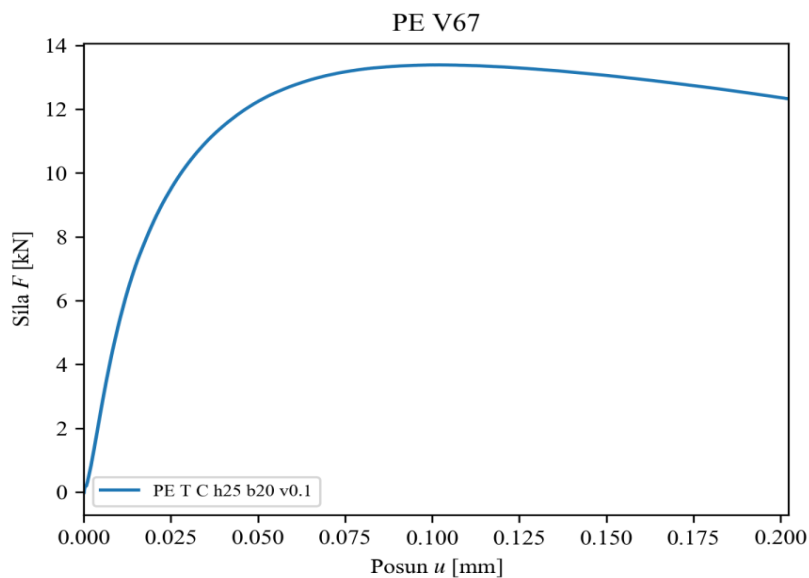
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	264,0	24,80	24,73	21,00	613,37

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	0,1	13,386	203,03	19,79

Těleso po ukončení zkoušky

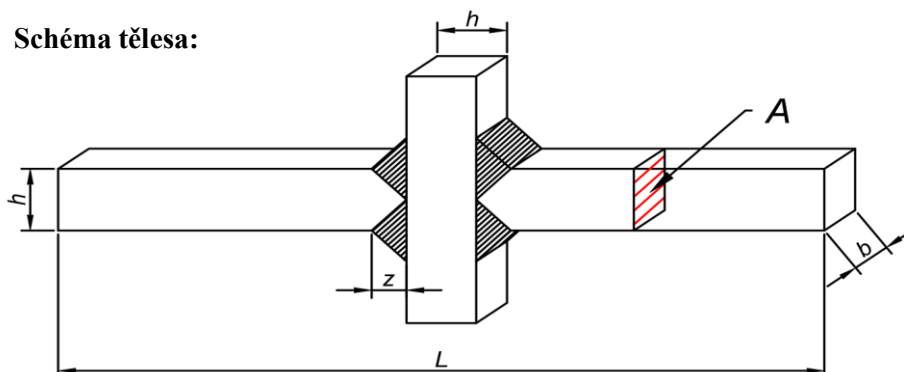


Zkušební těleso č. 68

PE T C h25 b25 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	264,0	24,79	24,67	20,86	611,57

Schéma tělesa:

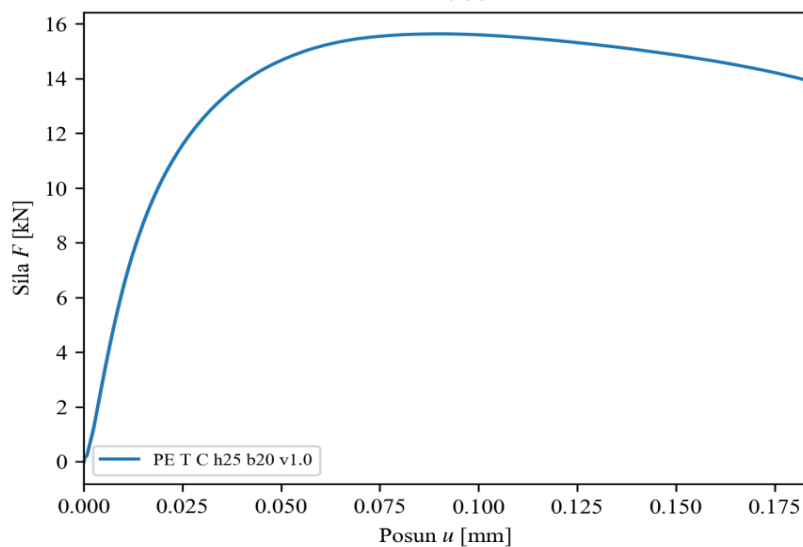


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	1	15,627	19,06	17,71

Těleso po ukončení zkoušky



PE V68

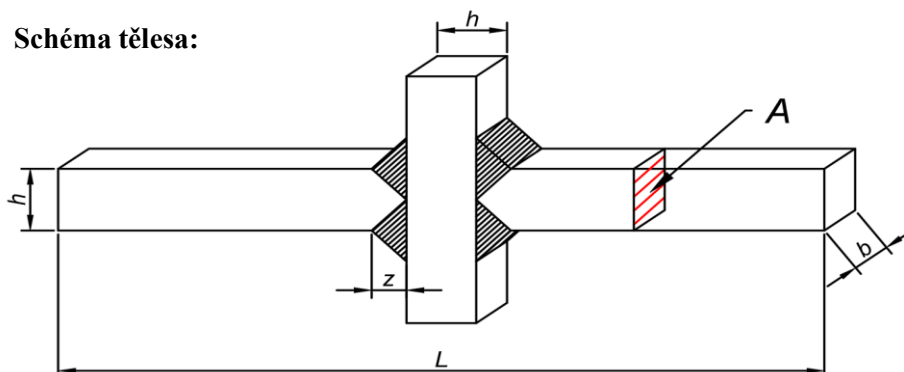


Zkušební těleso č. 69

PE T C h25 b25 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	264,0	24,86	24,69	20,86	613,61

Schéma tělesa:

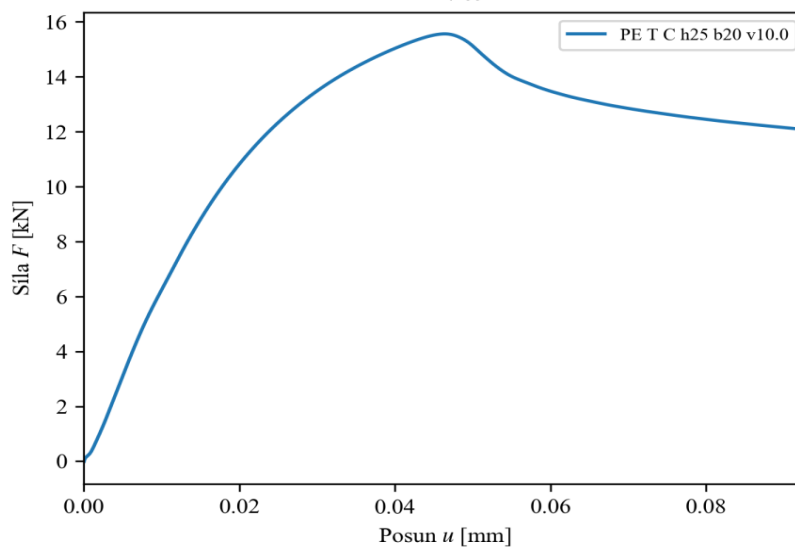


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Tah	10	17,569	2,23	13,91

Těleso po ukončení zkoušky



PE V69

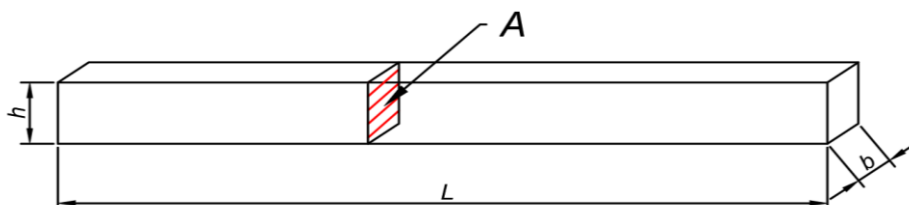


Zkušební těleso č. 70

PP O A h10 b20 v0.1

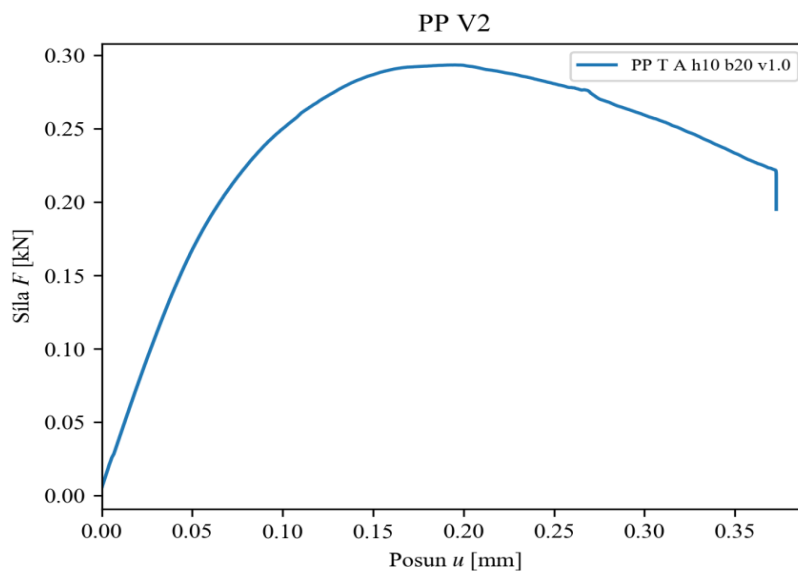
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	9,62	20,53	0,00	197,42

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,261	394,74	0,20

Těleso po ukončení zkoušky

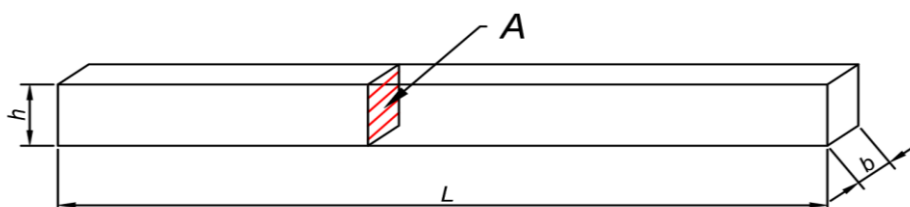


Zkušební těleso č. 71

PP O A h10 b20 v1.0

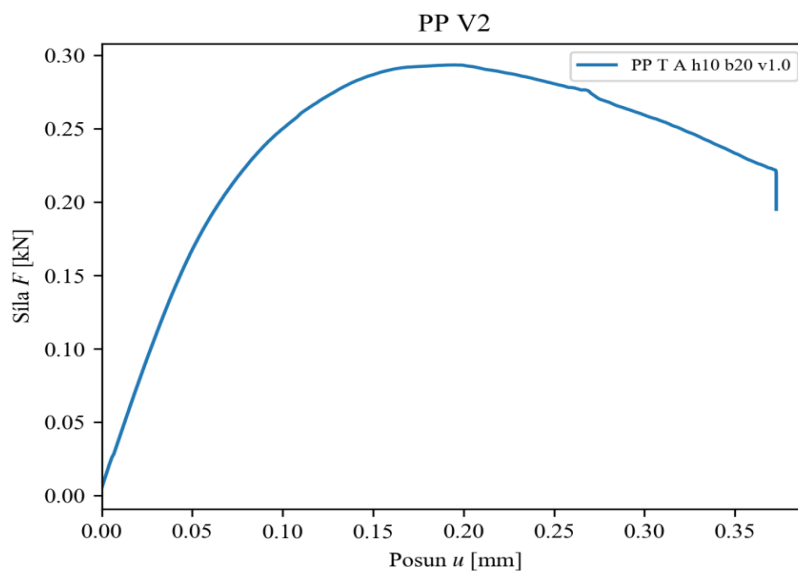
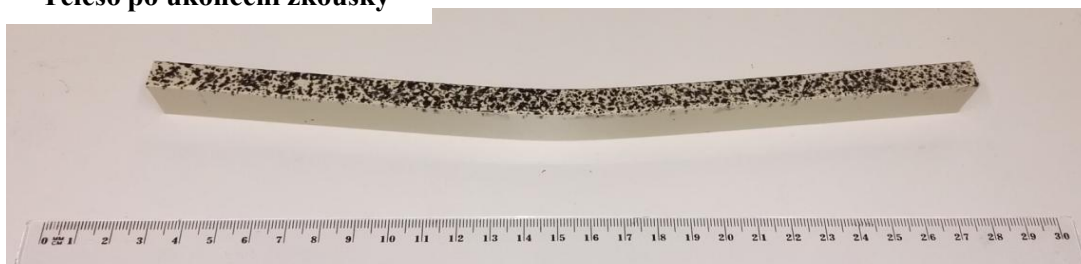
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	9,67	20,44	0,00	197,65

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,294	39,60	0,20

Těleso po ukončení zkoušky

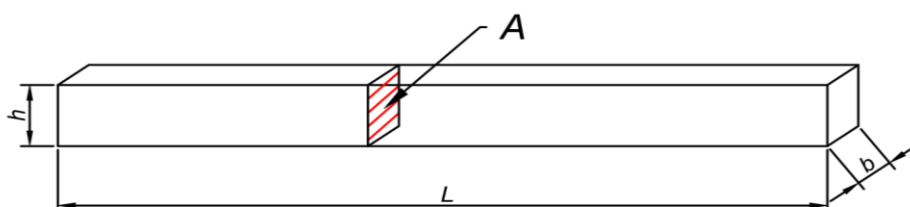


Zkušební těleso č. 72

PP O A h10 b20 v10.0

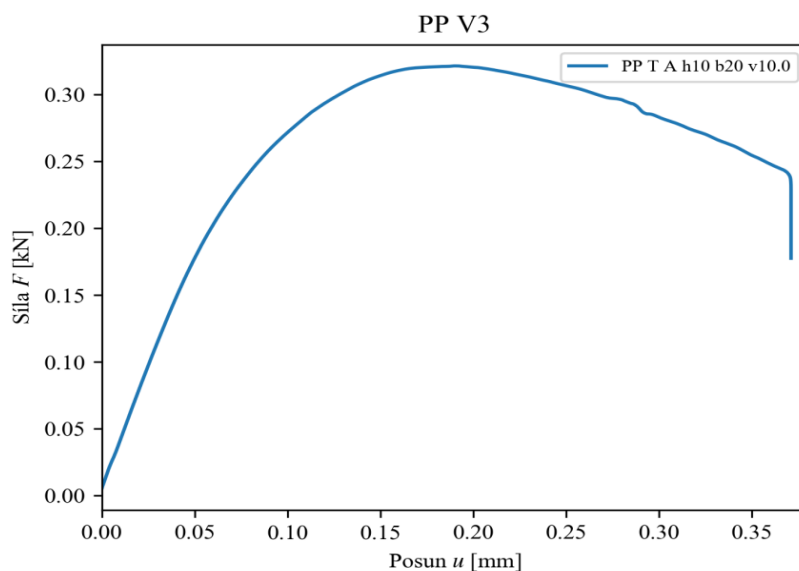
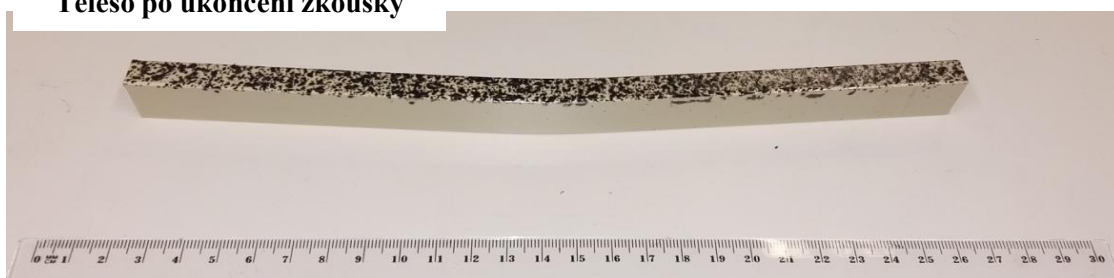
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	9,65	19,71	0,00	190,12

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,321	4,38	0,19

Těleso po ukončení zkoušky

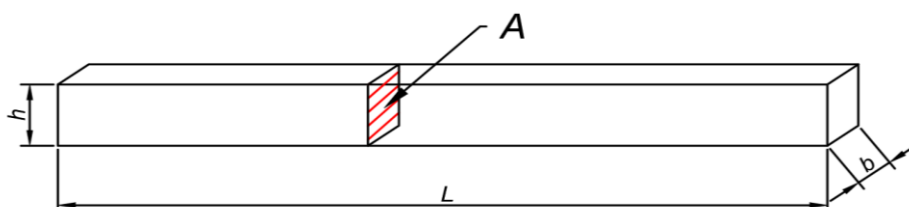


Zkušební těleso č. 73

PP O A h15 b20 v0.1

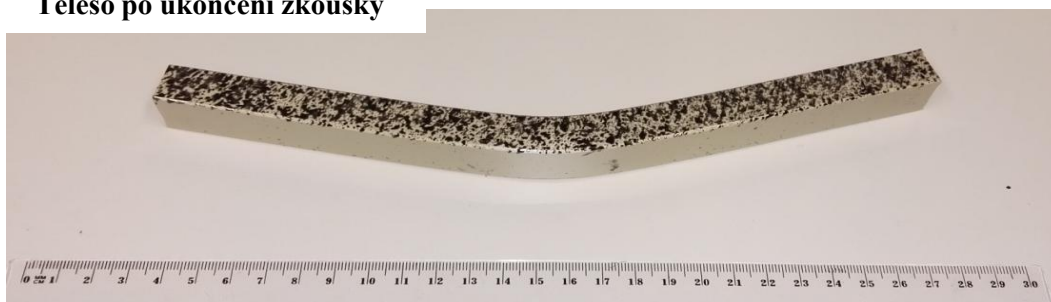
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	14,66	20,41	0,00	299,19

Schéma tělesa:

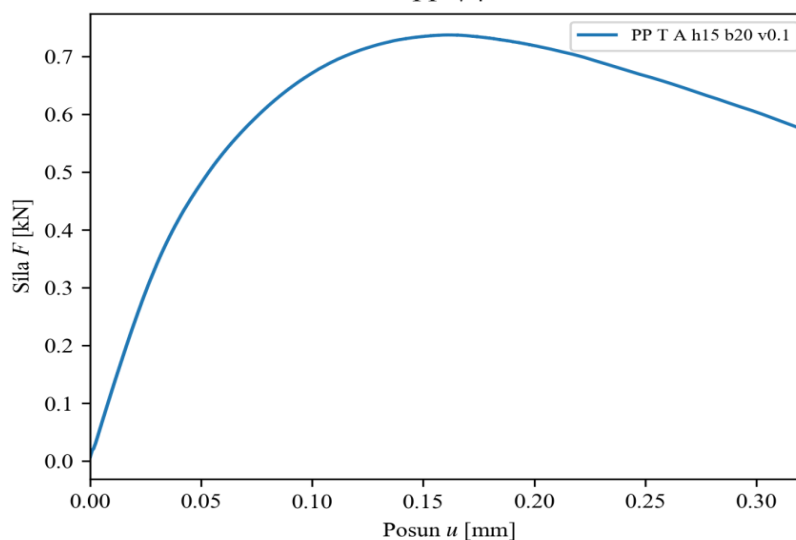


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,738	323,62	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PP V4

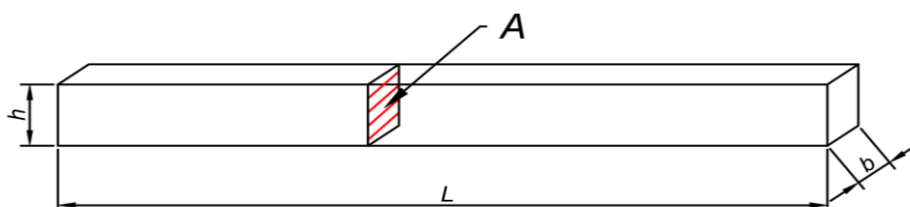


Zkušební těleso č. 74

PP O A h15 b20 v1.0

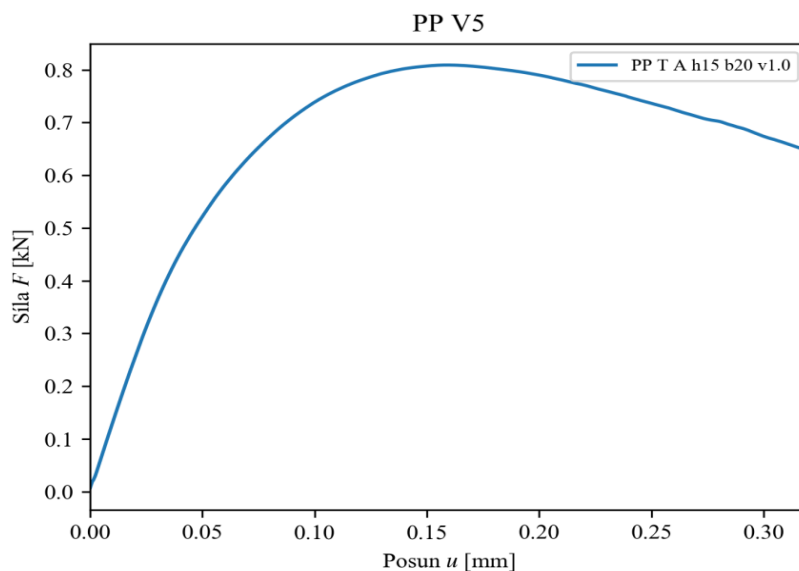
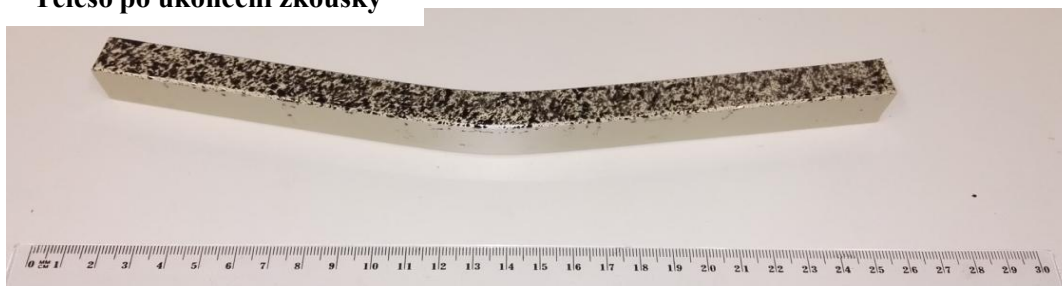
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polypropylén	A	251,0	14,61	19,94	0,00	291,32

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	1	0,809	32,52	0,16

Těleso po ukončení zkoušky

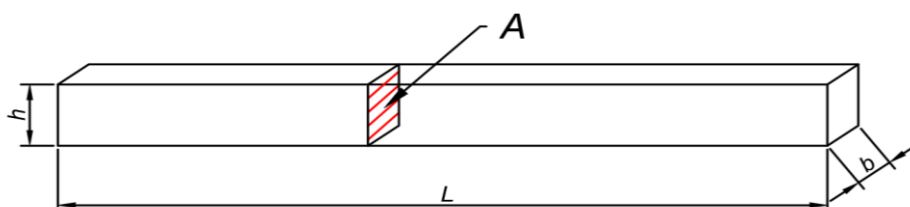


Zkušební těleso č. 75

PP O A h15 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	14,66	20,02	0,00	293,47

Schéma tělesa:

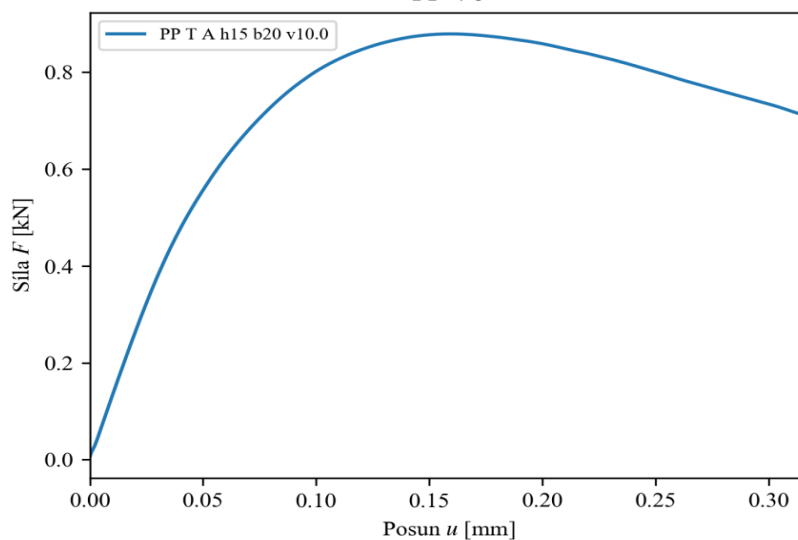


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,879	3,78	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PP V6

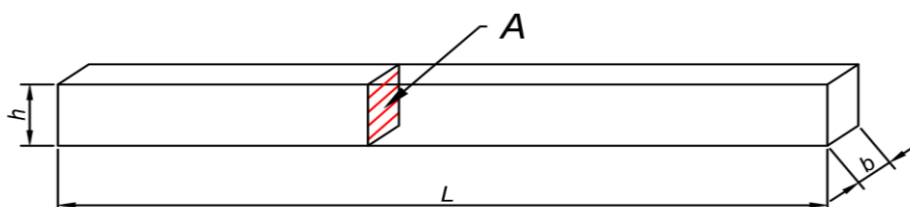


Zkušební těleso č. 76

PP O A h20 b20 v0.1

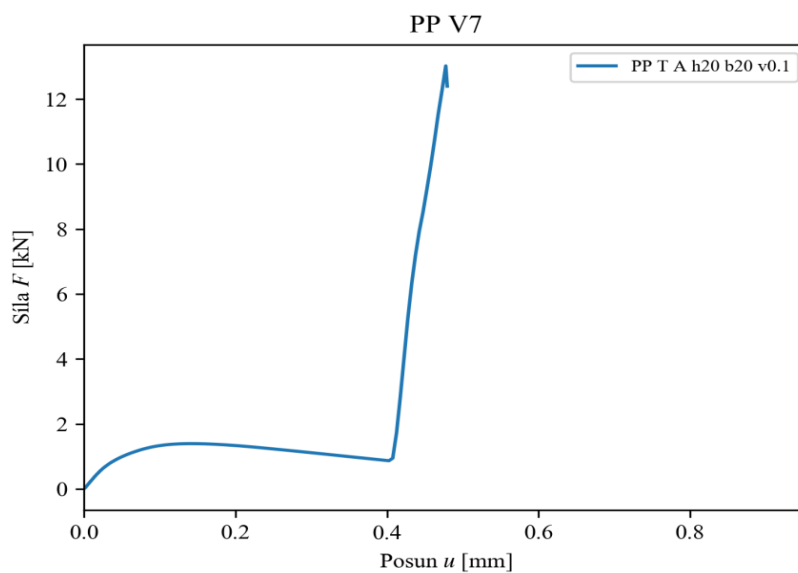
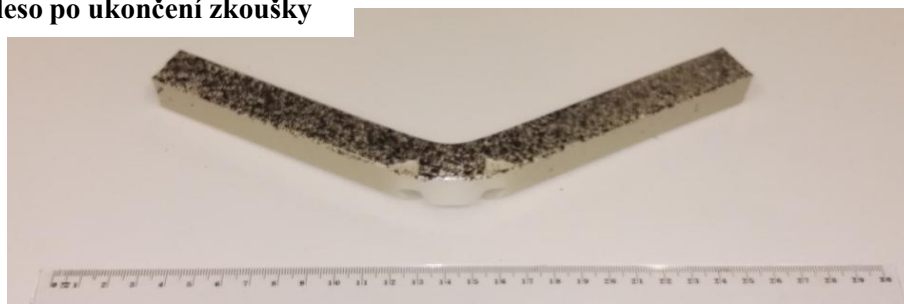
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	19,47	19,73	0,00	384,14

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	13,022	955,71	0,48

Těleso po ukončení zkoušky

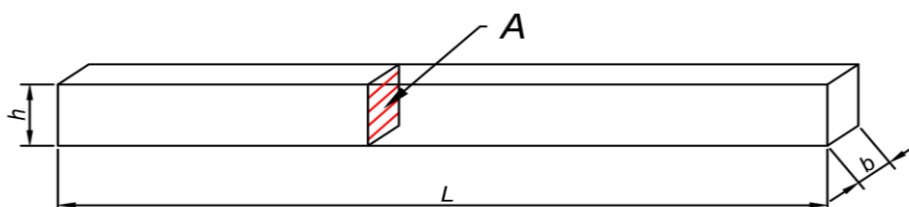


Zkušební těleso č. 77

PP O A h20 b20 v1.0

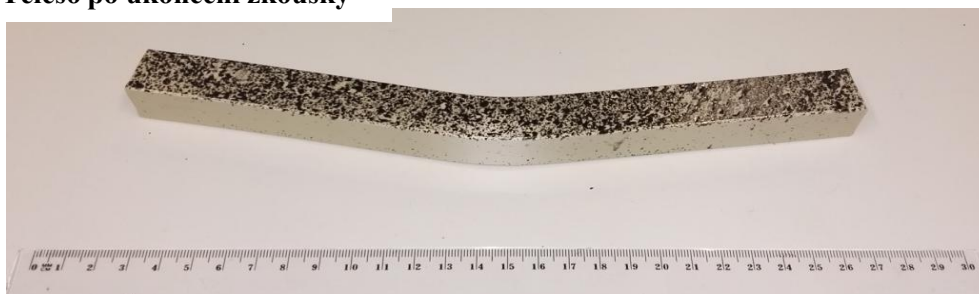
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	19,47	19,83	0,00	385,93

Schéma tělesa:

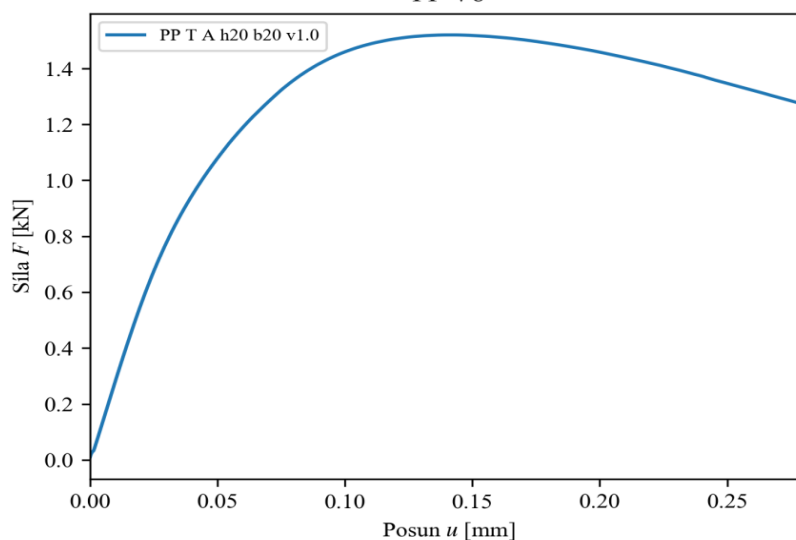


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,519	28,75	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PP V8

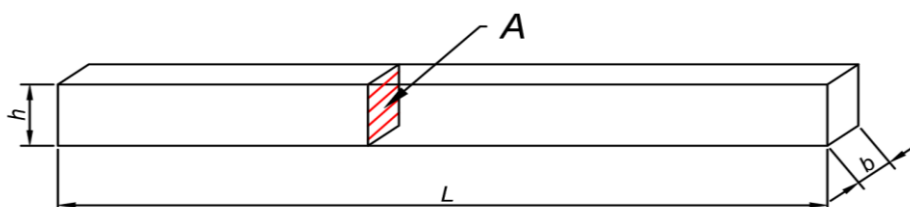


Zkušební těleso č. 78

PP O A h20 b20 v10.0

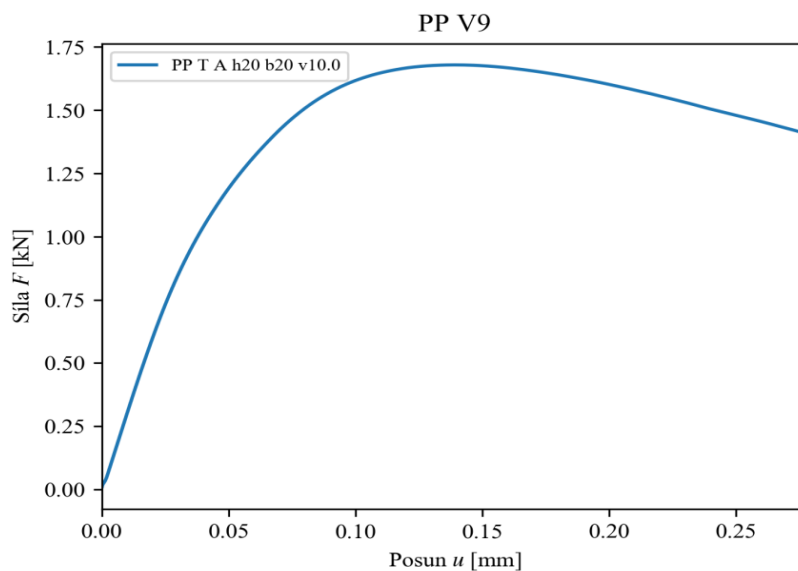
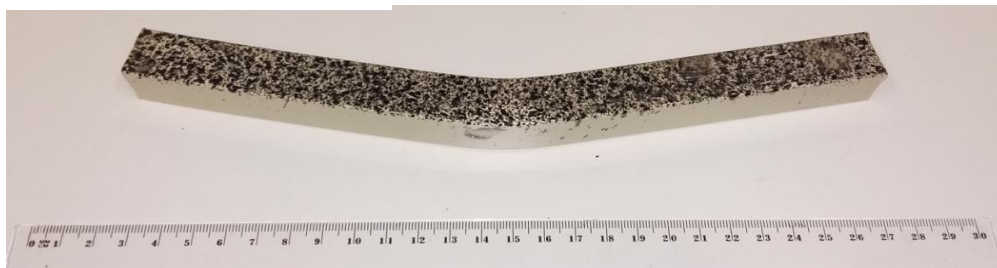
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	19,46	19,96	0,00	388,46

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	1,678	3,38	0,14

Těleso po ukončení zkoušky

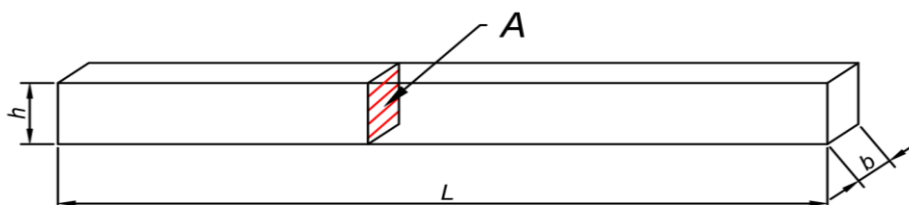


Zkušební těleso č. 79

PP O A h25 b25 v0.1

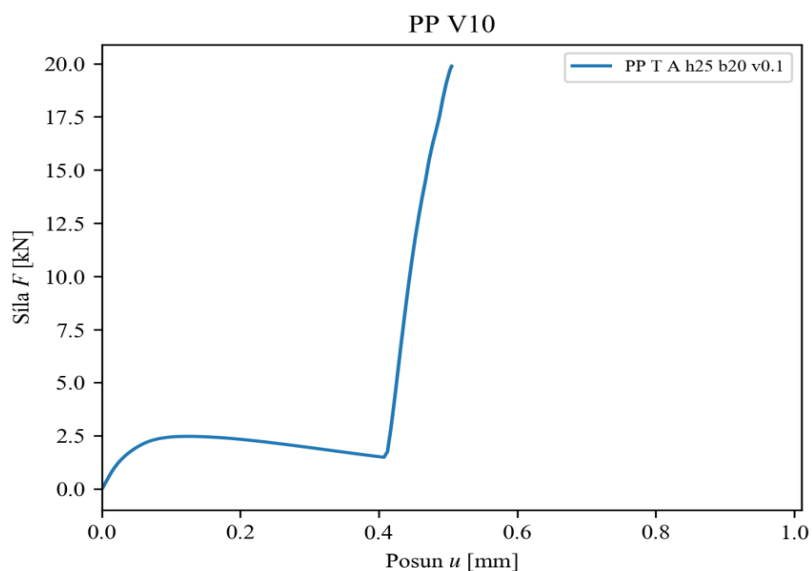
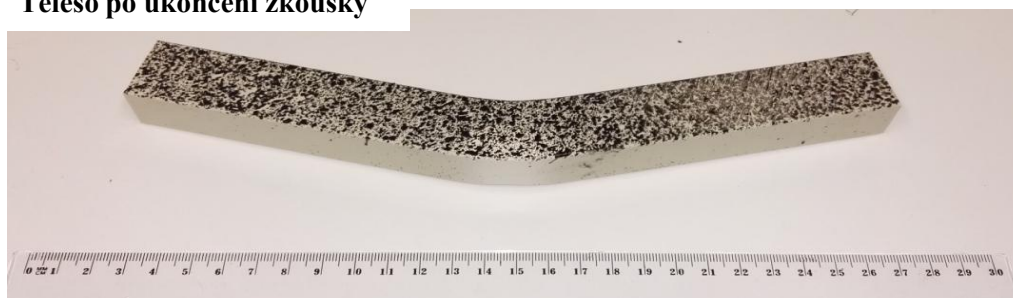
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	24,83	20,02	0,00	497,02

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	19,896	1011,04	0,51

Těleso po ukončení zkoušky

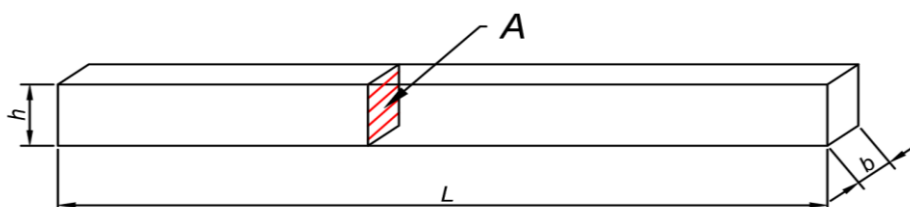


Zkušební těleso č. 80

PP O A h25 b25 v1.0

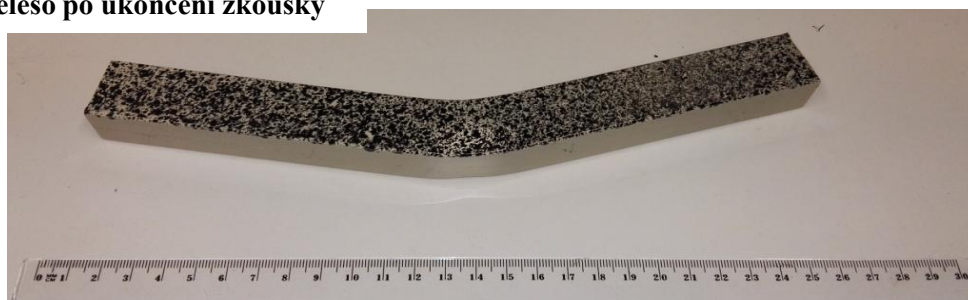
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	24,81	19,66	0,00	487,84

Schéma tělesa:

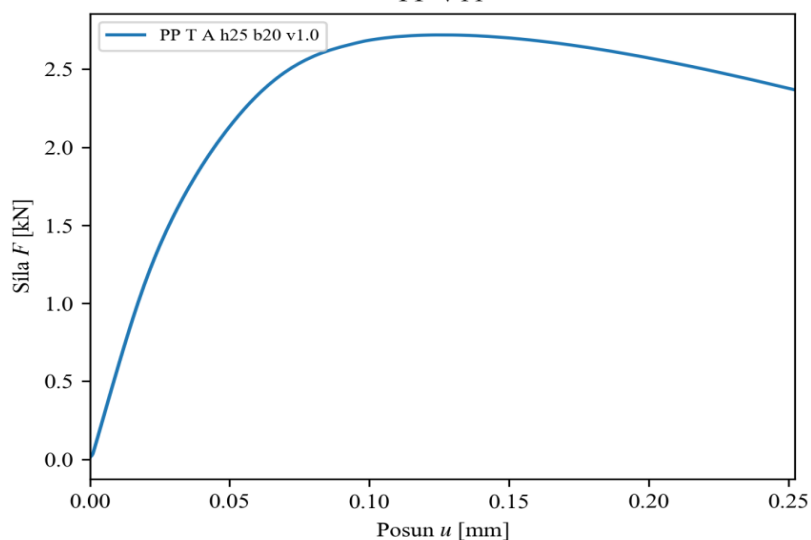


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	2,720	25,82	0,13

Těleso po ukončení zkoušky



PP V11

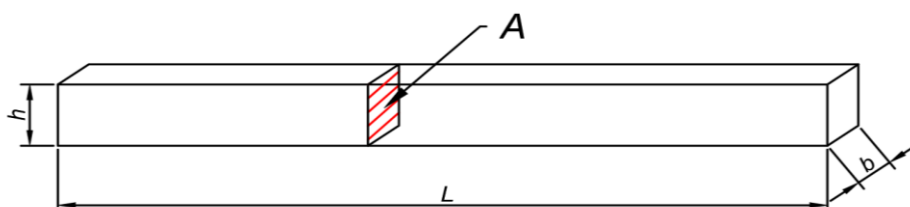


Zkušební těleso č. 81

PP O A h25 b25 v10.0

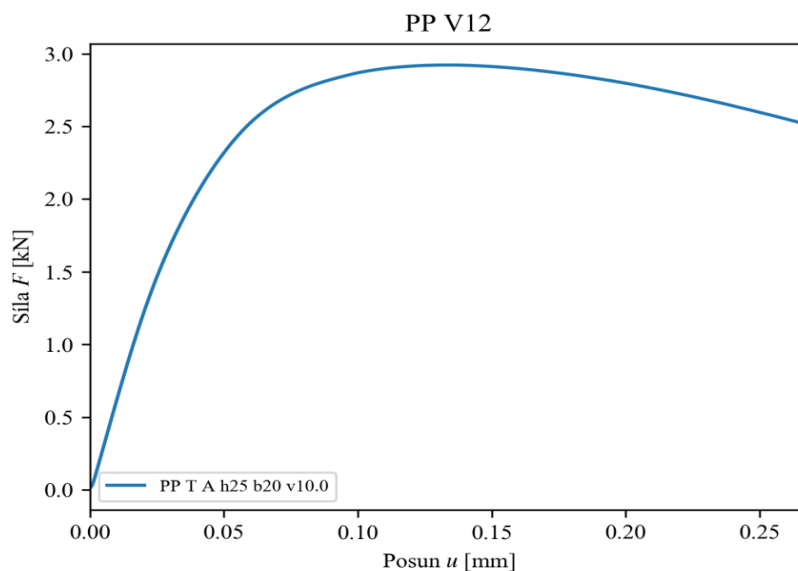
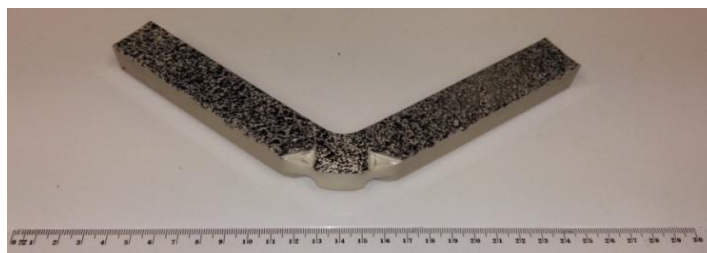
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	A	251,0	24,82	20,35	0,00	504,91

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	2,922	3,27	0,13

Těleso po ukončení zkoušky

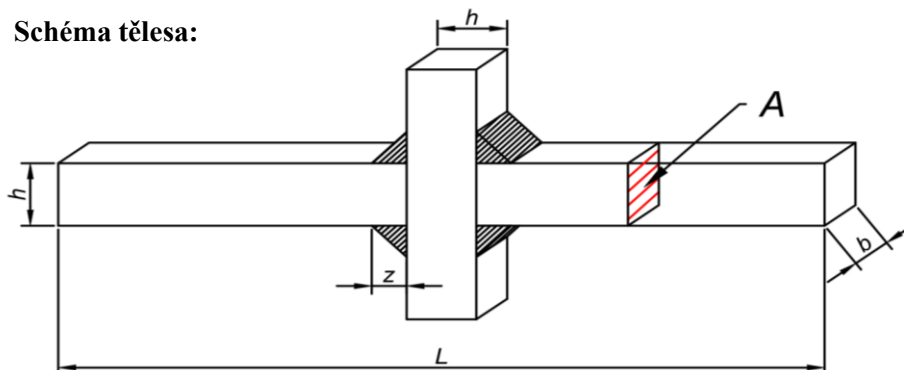


Zkušební těleso č. 82

PP O B h10 b20 v0.1

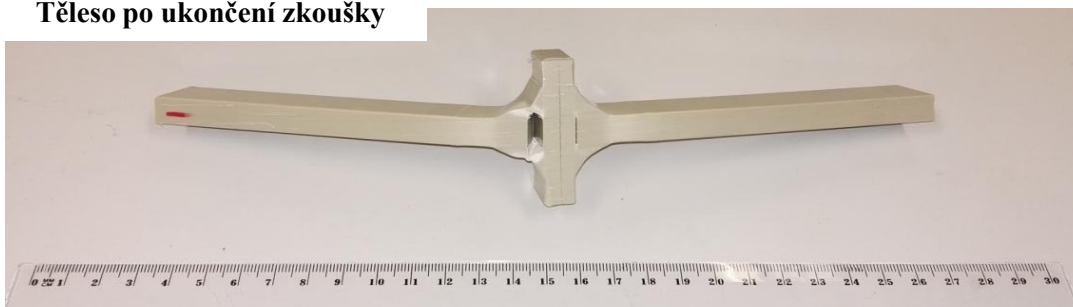
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	251,5	9,69	20,54	0,00	198,88

Schéma tělesa:

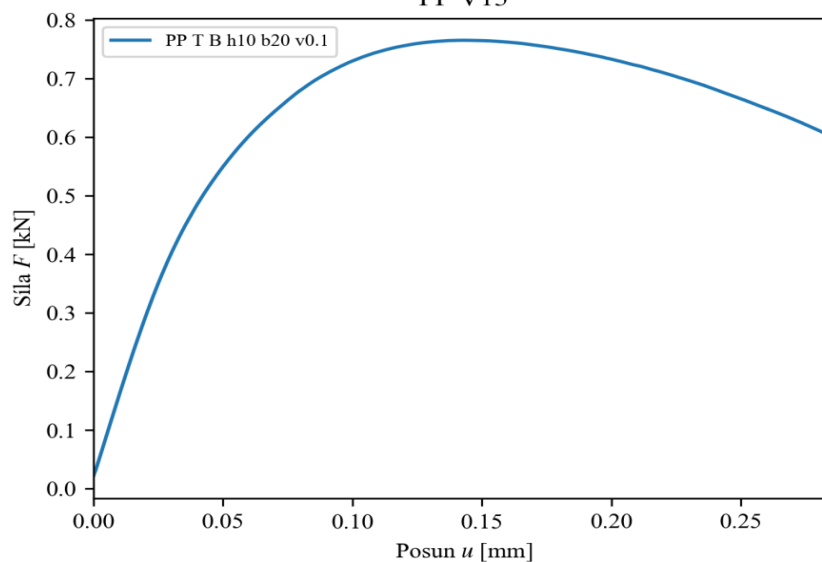


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,766	286,78	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PP V13

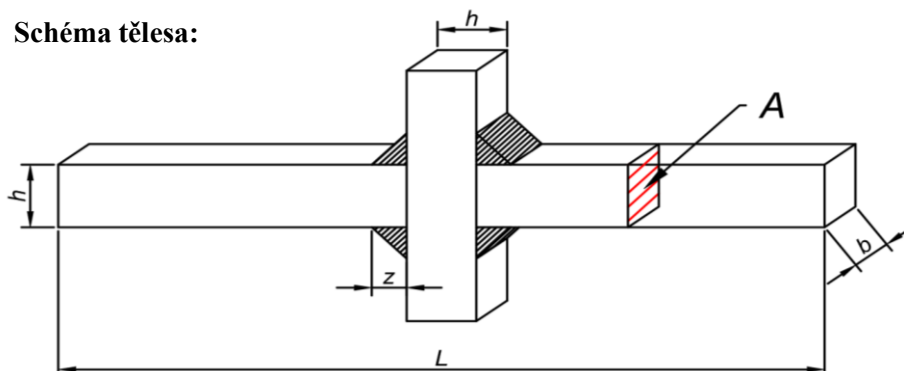


Zkušební těleso č. 83

PP O B h10 b20 v1.0

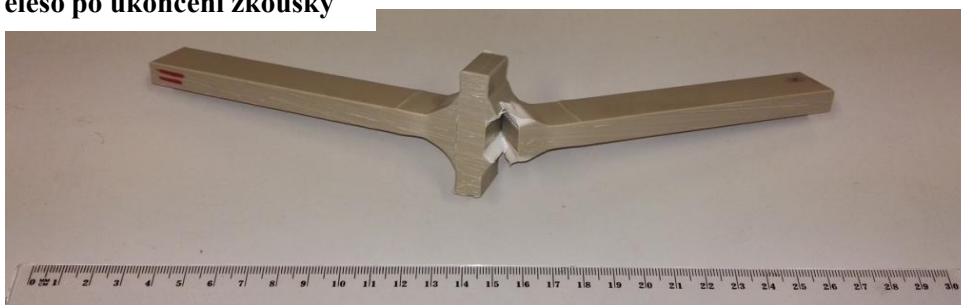
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	251,5	9,71	20,42	0,00	198,20

Schéma tělesa:

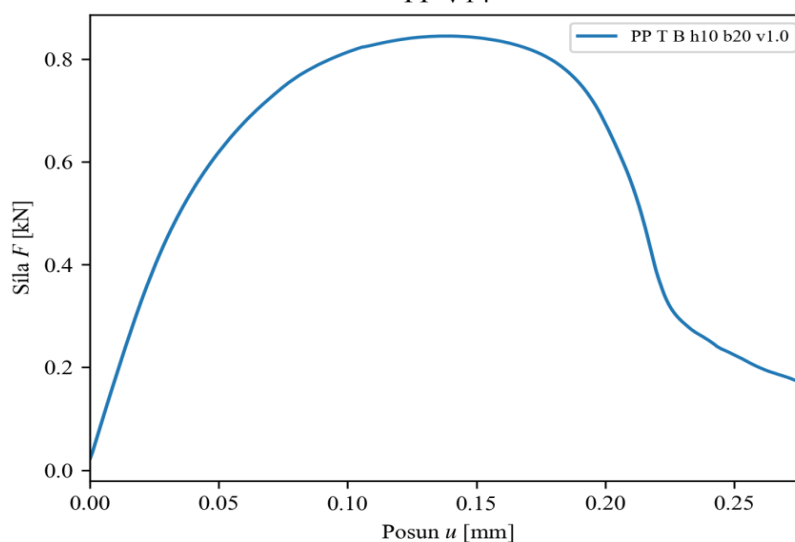


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,844	28,43	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PP V14

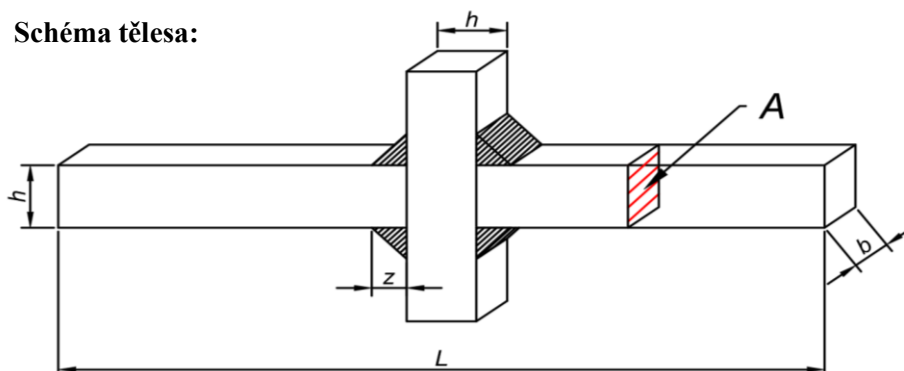


Zkušební těleso č. 84

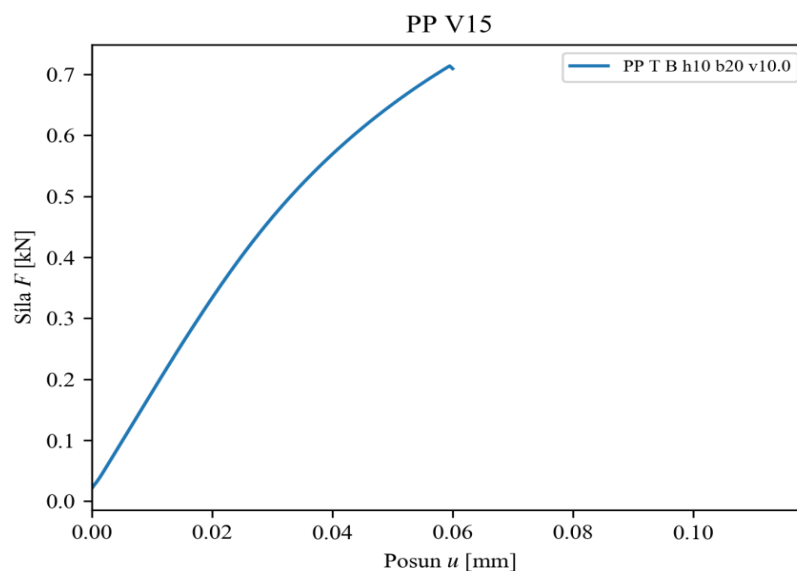
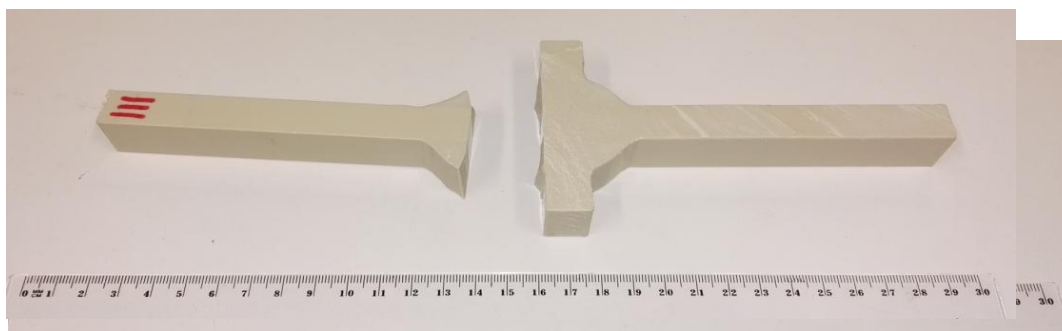
PP O B h10 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	251,5	9,69	19,71	0,00	191,01

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,714	1,85	0,06

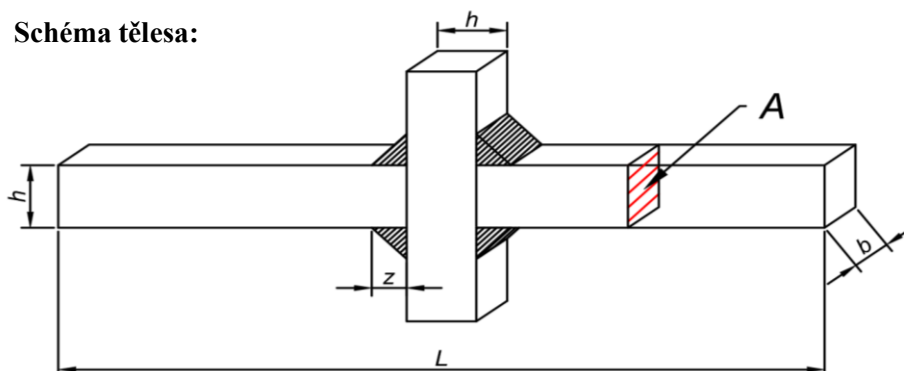


Zkušební těleso č. 85

PP O B h15 b20 v0.1

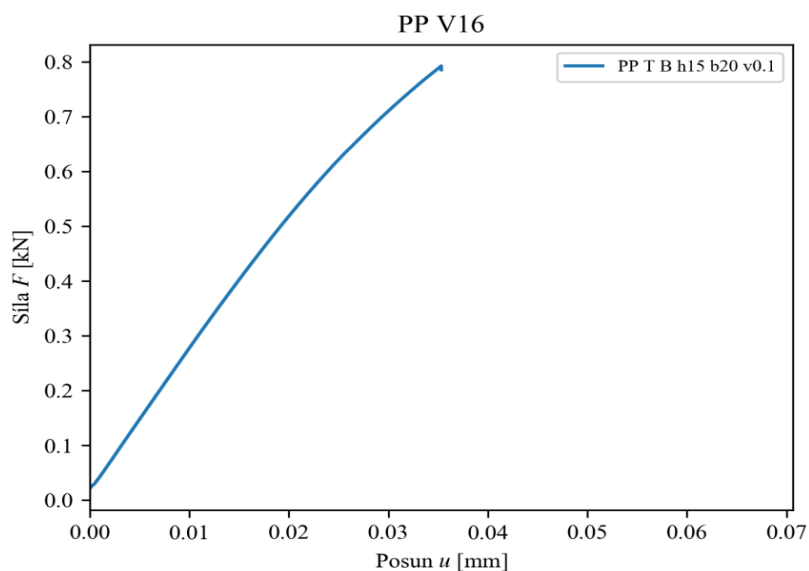
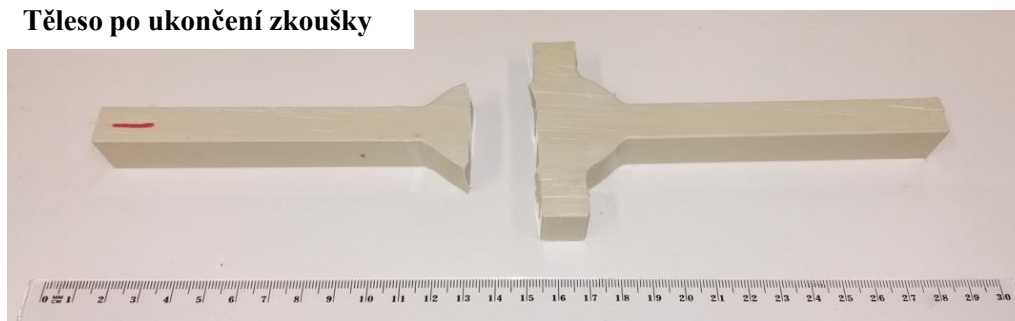
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	255,0	14,69	20,42	0,00	299,92

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,792	71,26	0,04

Těleso po ukončení zkoušky

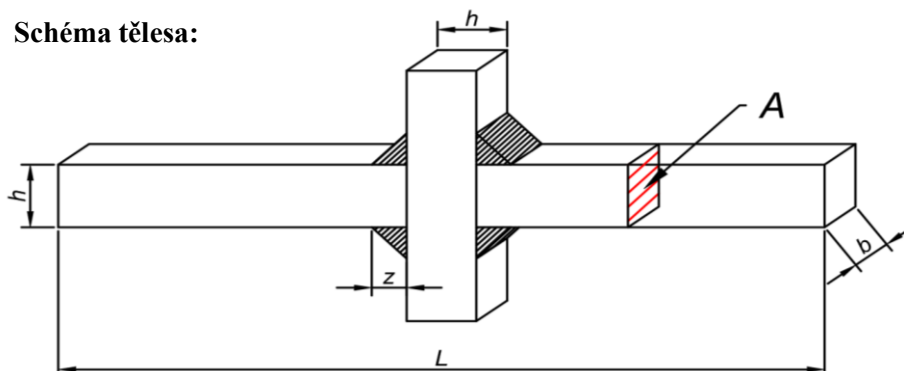


Zkušební těleso č. 86

PP O B h15 b20 v1.0

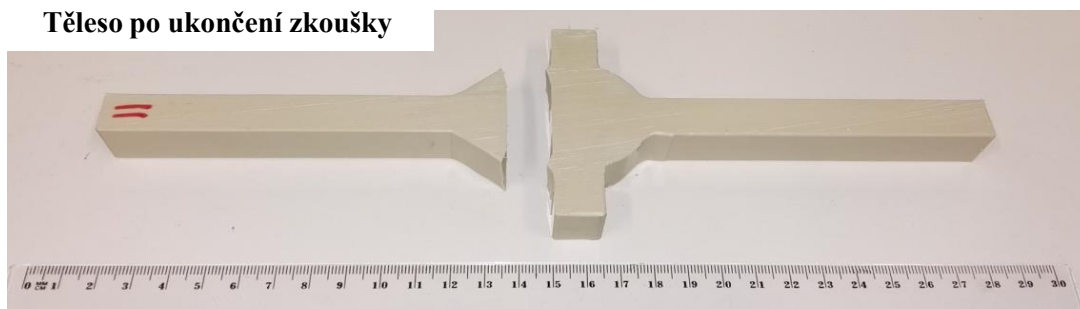
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	255,0	14,63	19,94	0,00	291,67

Schéma tělesa:

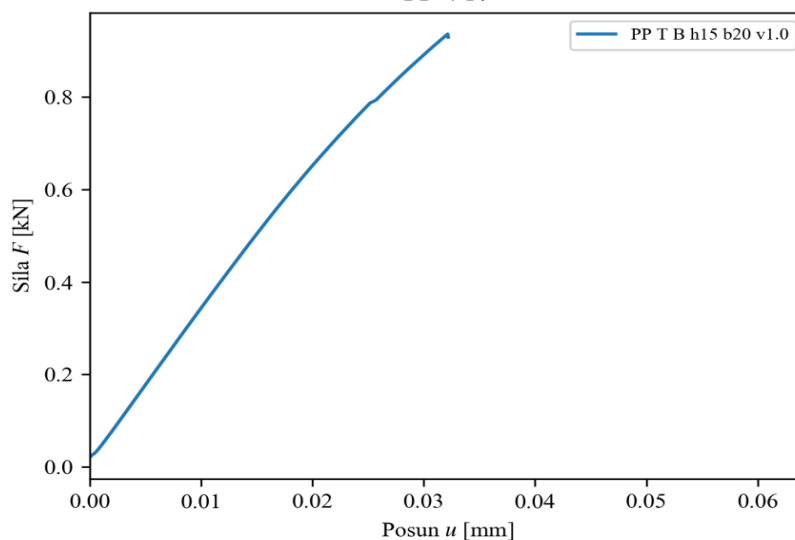


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,936	7,06	0,03

Těleso po ukončení zkoušky



PP V17

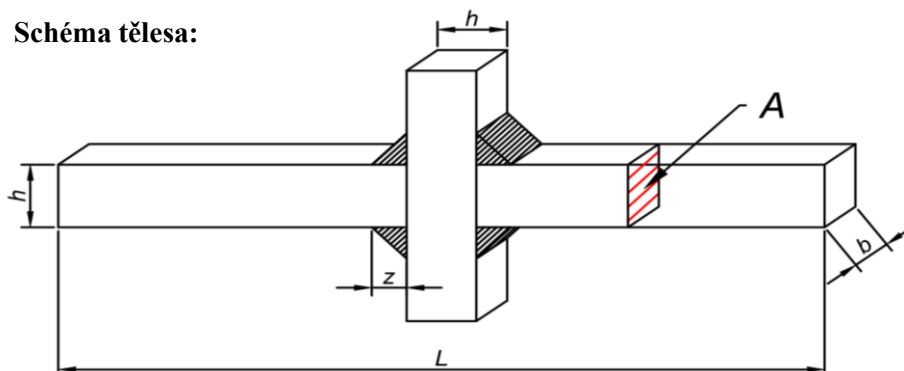


Zkušební těleso č. 87

PP O B h15 b20 v10.0

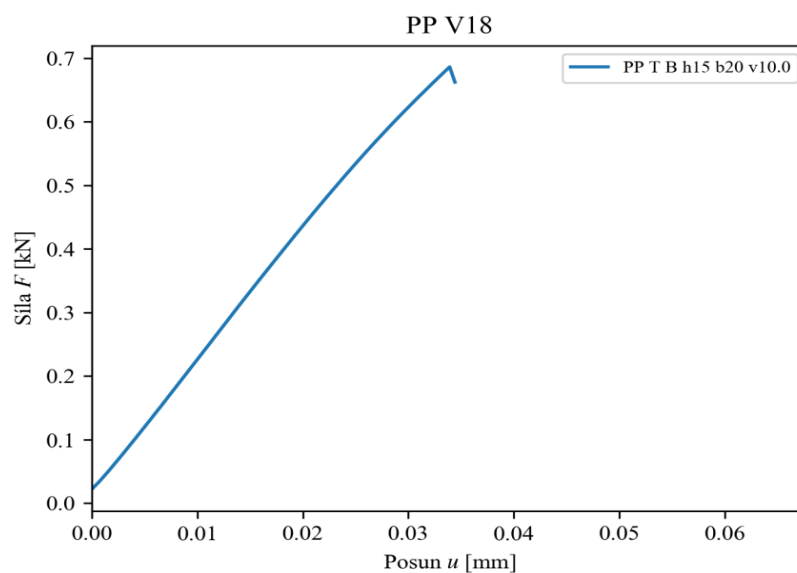
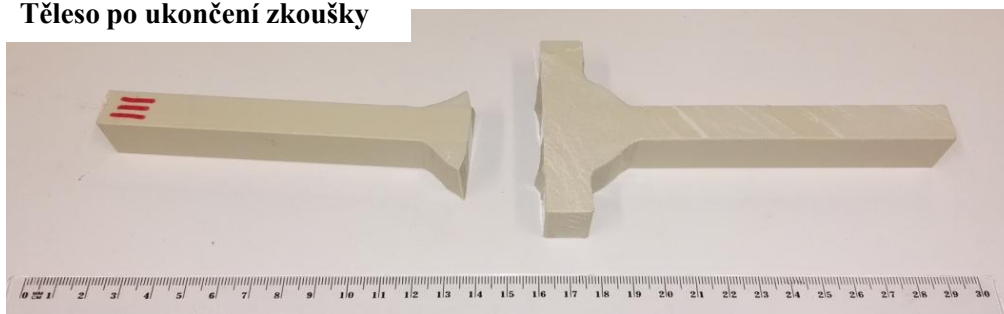
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	255,0	14,68	20,02	0,00	293,88

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,686	1,31	0,03

Těleso po ukončení zkoušky

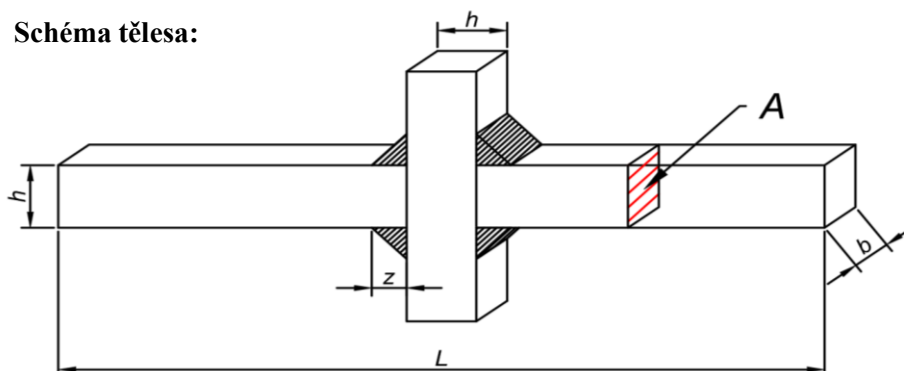


Zkušební těleso č. 88

PP O B h20 b20 v0.1

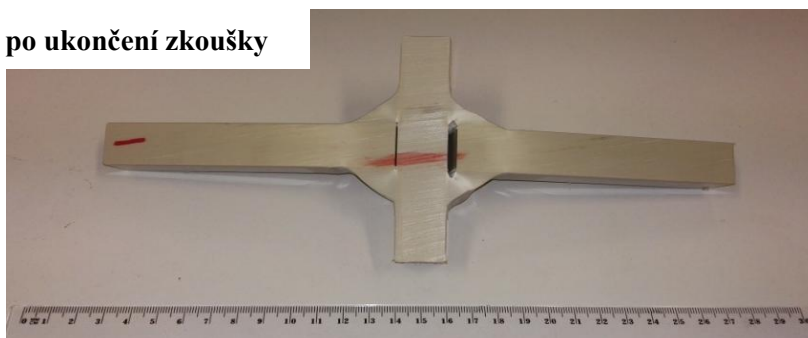
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	260,0	19,49	19,73	0,00	384,59

Schéma tělesa:

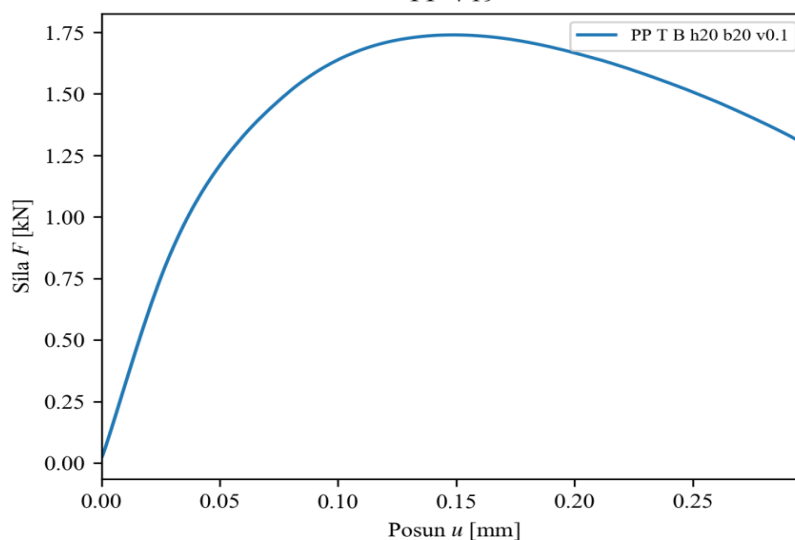


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	1,739	298,35	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PP V19

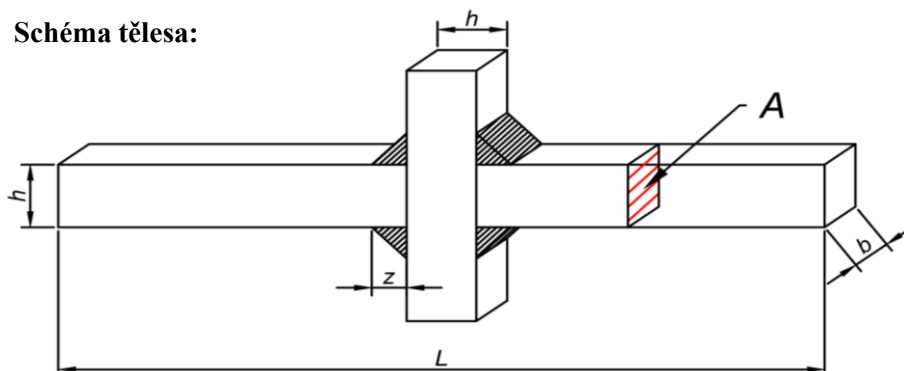


Zkušební těleso č. 89

PP O B h20 b20 v1.0

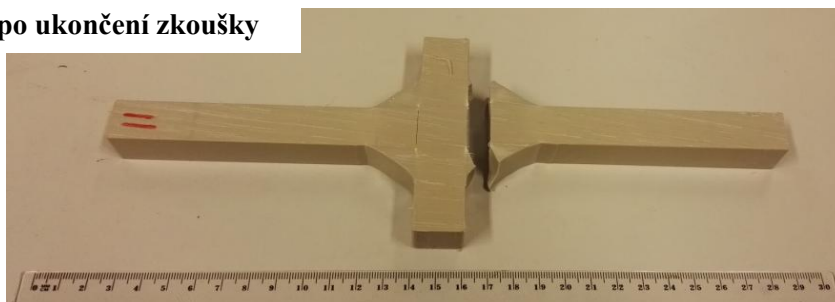
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	260,0	19,51	19,82	0,00	386,64

Schéma tělesa:

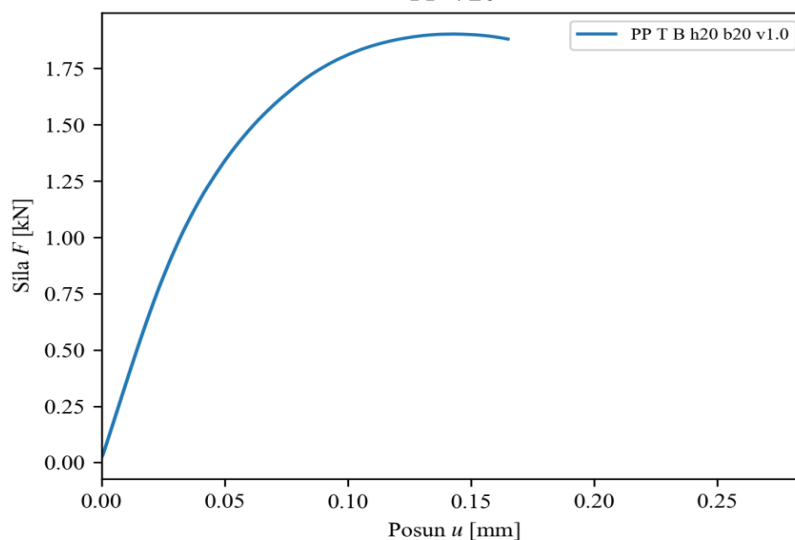


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,901	29,21	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PP V20

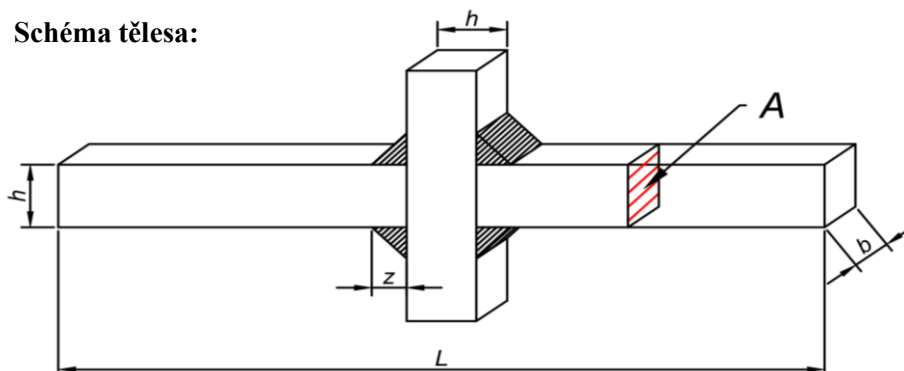


Zkušební těleso č. 90

PP O B h20 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	260,0	19,45	19,96	0,00	388,27

Schéma tělesa:

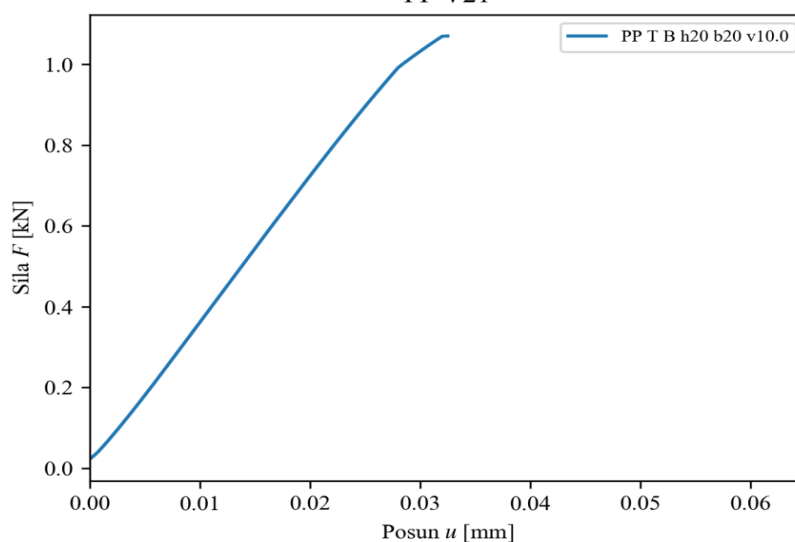


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	1,070	1,31	0,03

Těleso po ukončení zkoušky



PP V21

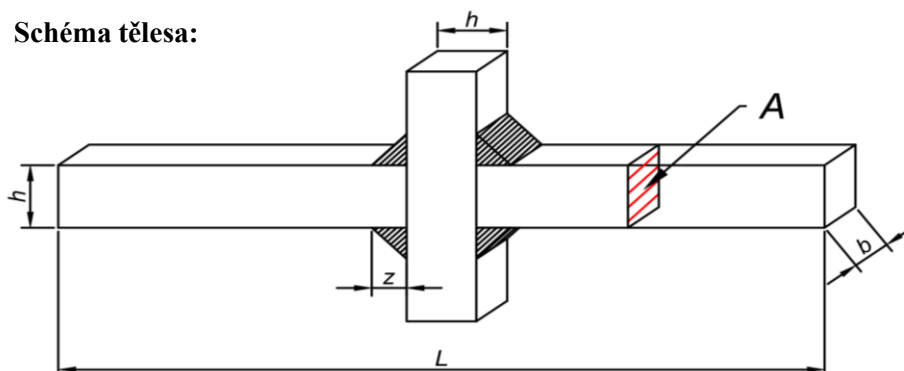


Zkušební těleso č. 91

PP O B h25 b25 v0.1

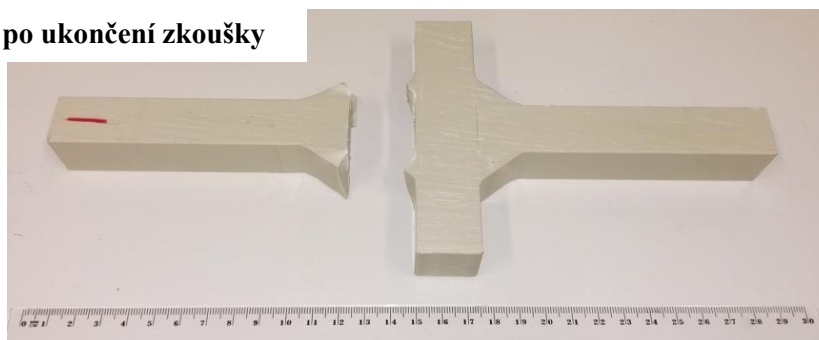
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	265,0	24,80	24,80	0,00	615,04

Schéma tělesa:

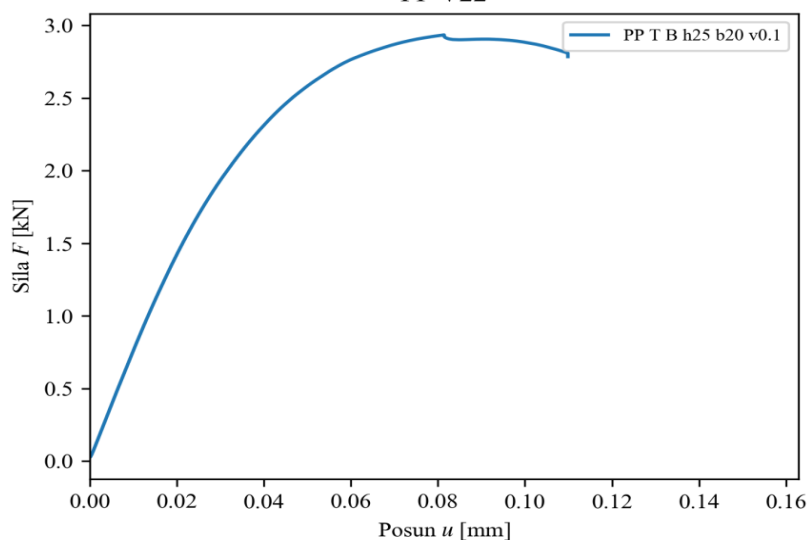


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	2,934	163,50	0,08

Těleso po ukončení zkoušky



PP V22

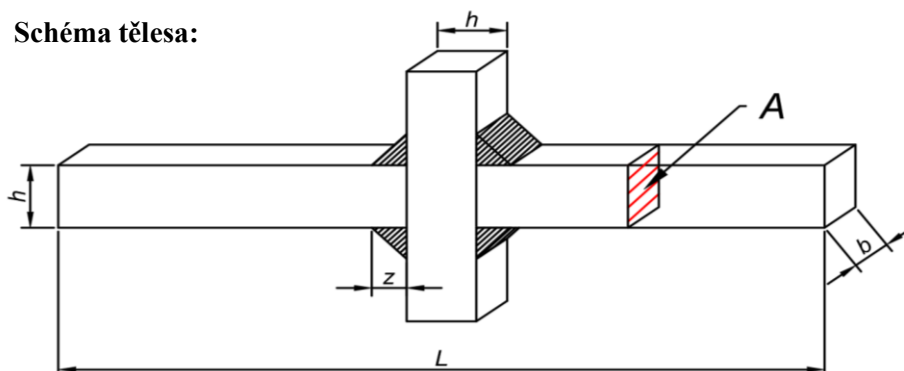


Zkušební těleso č. 92

PP O B h25 b25 v1.0

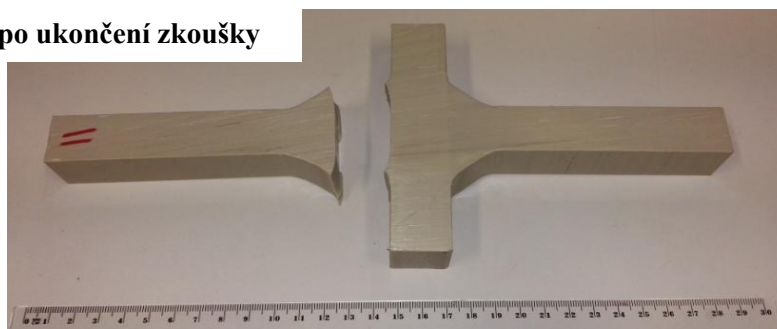
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	265,0	24,77	24,77	0,00	613,31

Schéma tělesa:

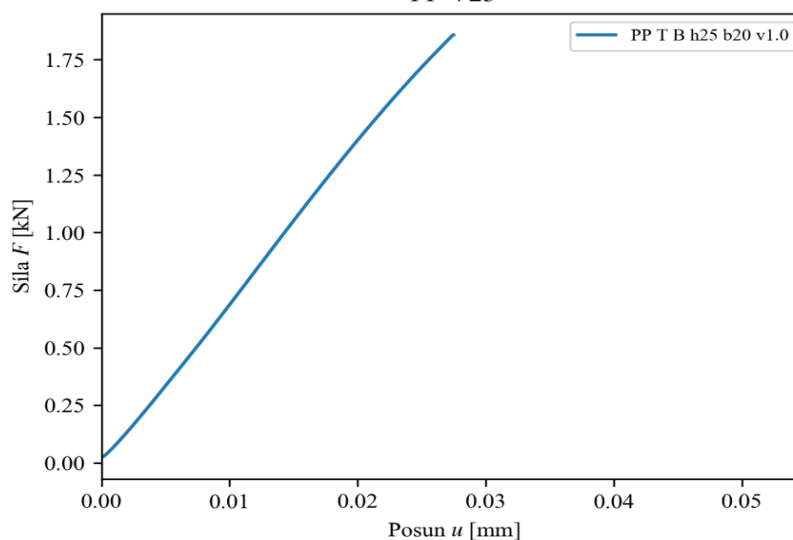


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,857	6,15	0,03

Těleso po ukončení zkoušky



PP V23

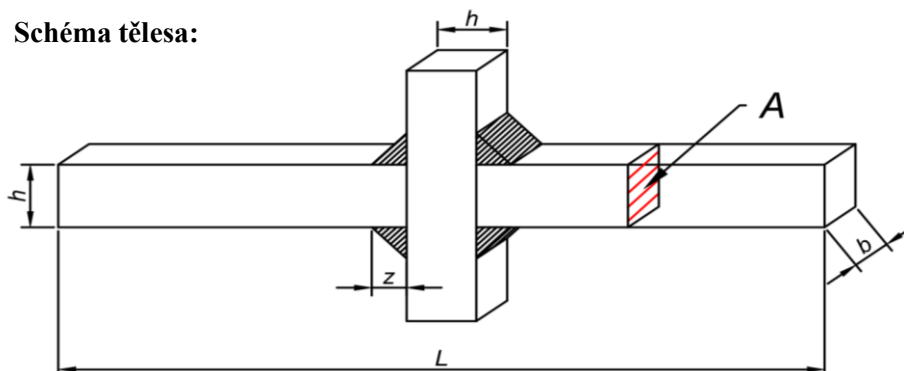


Zkušební těleso č. 93

PP O B h25 b25 v10.0

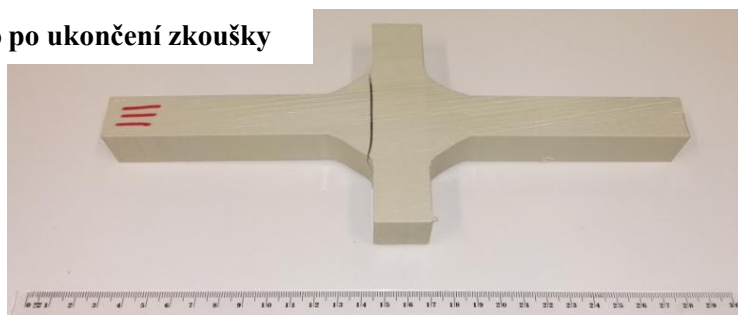
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	B	265,0	24,80	24,80	0,00	615,16

Schéma tělesa:

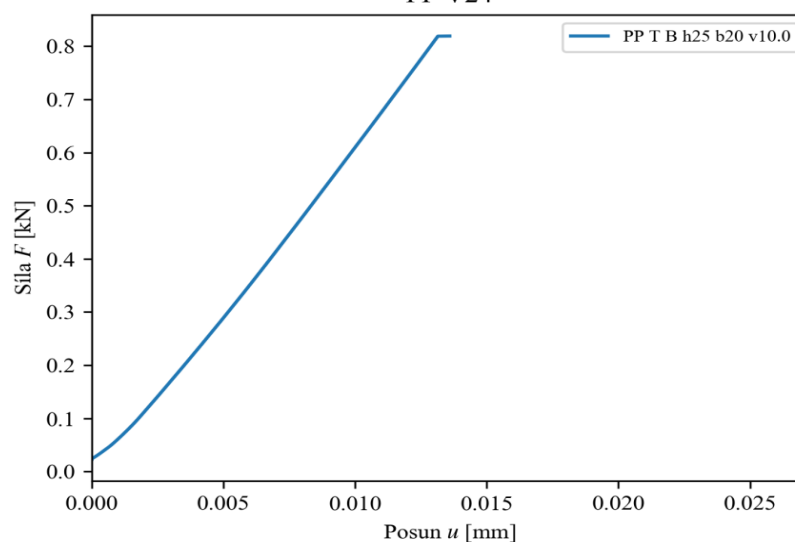


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,819	0,91	0,01

Těleso po ukončení zkoušky



PP V24

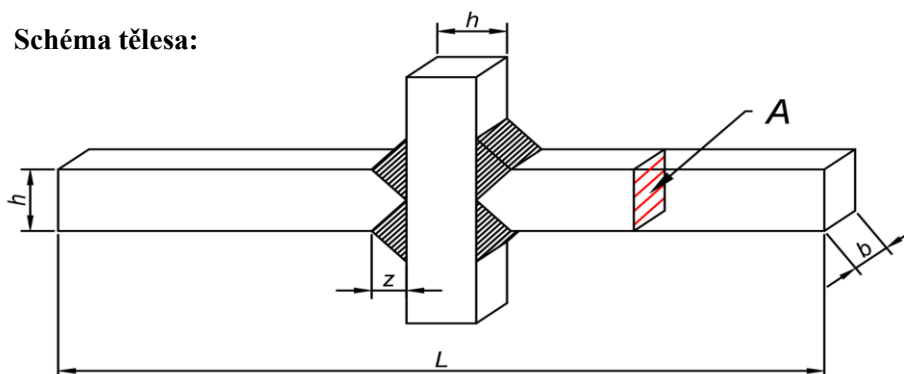


Zkušební těleso č. 94

PP O C h10 b20 v0.1

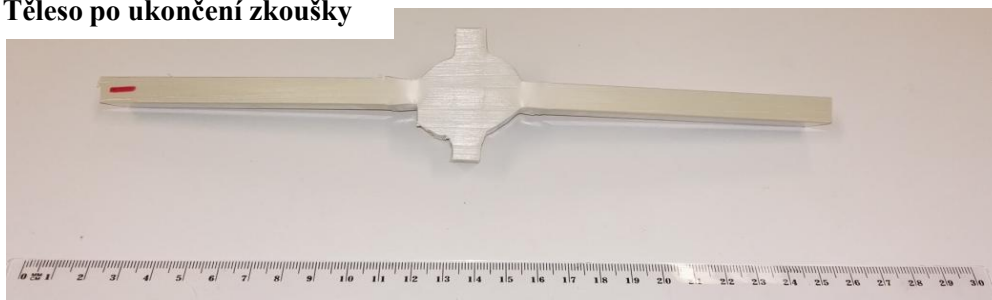
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	249,5	9,68	20,54	0,00	198,83

Schéma tělesa:

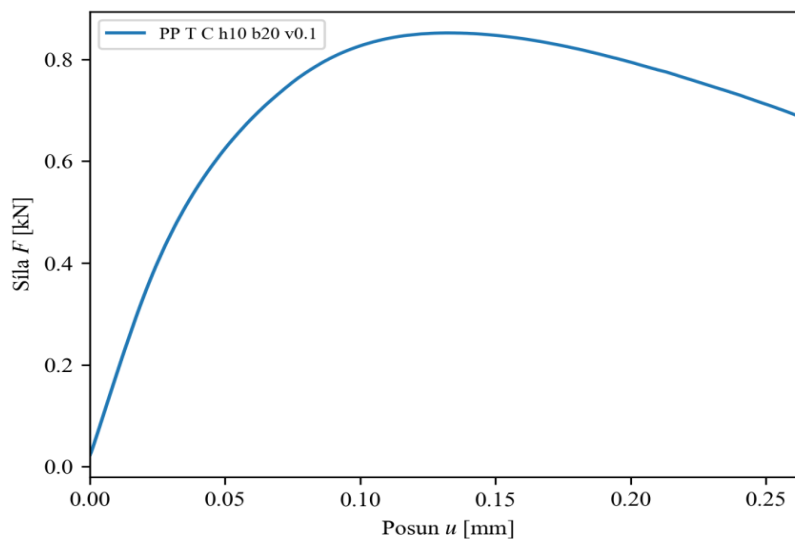


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,852	265,28	0,13

Těleso po ukončení zkoušky



PP V25

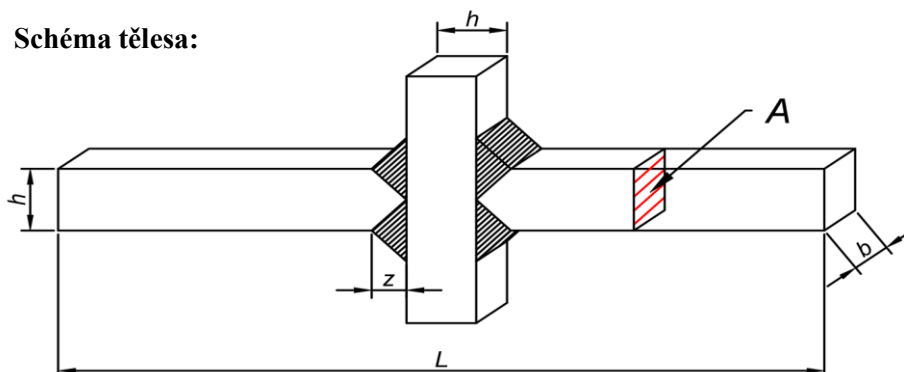


Zkušební těleso č. 95

PP O C h10 b20 v1.0

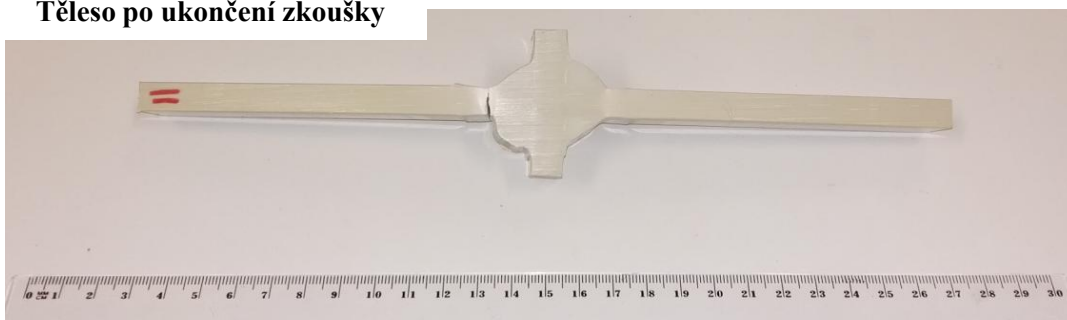
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	249,5	9,71	20,42	0,00	198,30

Schéma tělesa:

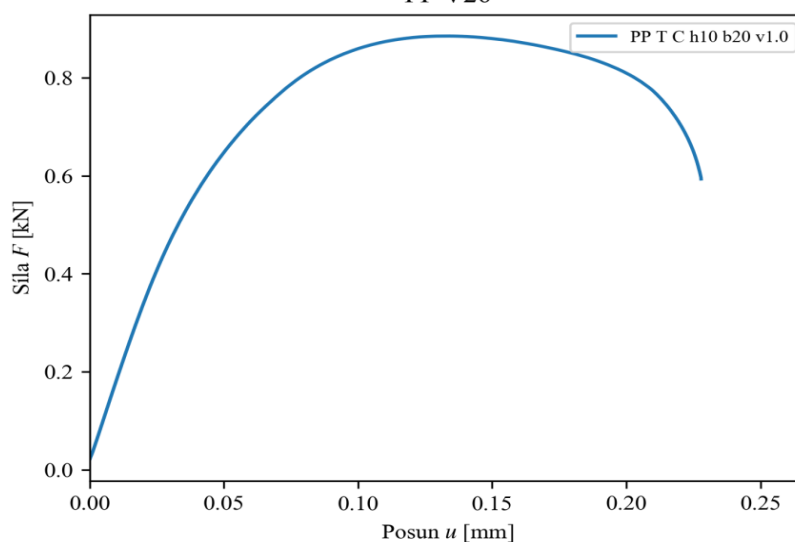


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,885	27,33	0,13

Těleso po ukončení zkoušky



PP V26

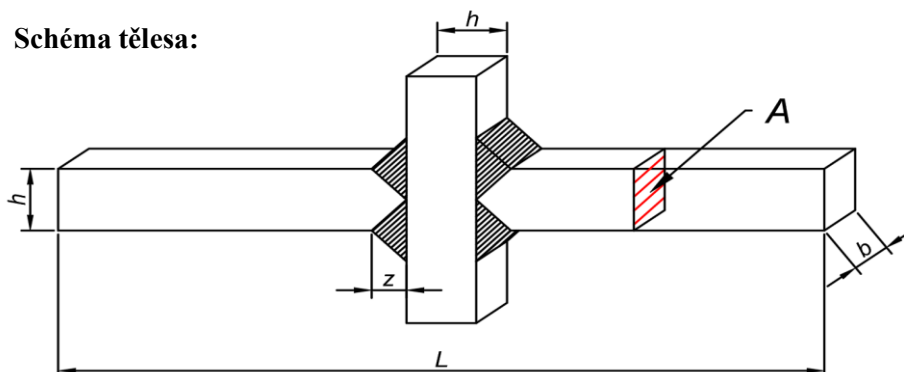


Zkušební těleso č. 96

PP O C h10 b20 v10.0

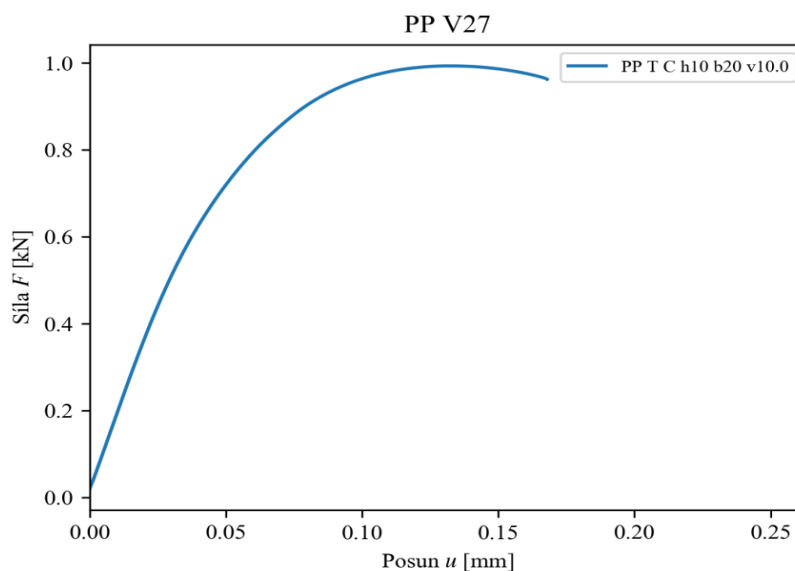
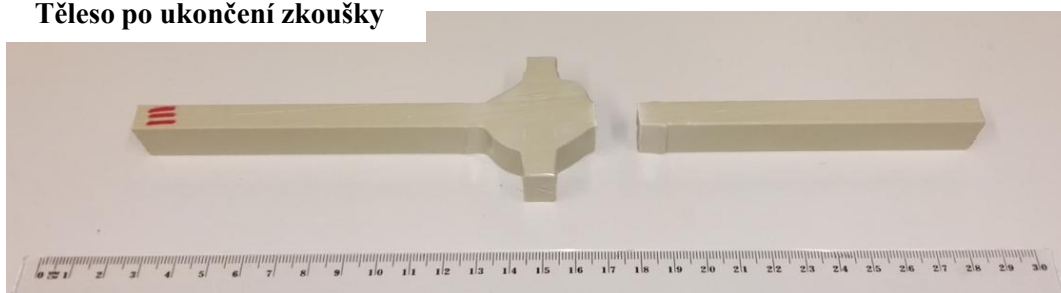
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	249,5	9,69	19,71	0,00	191,01

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,992	3,28	0,13

Těleso po ukončení zkoušky

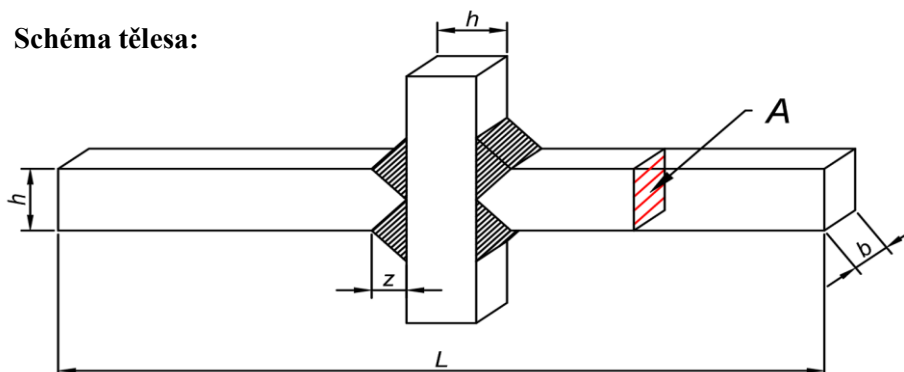


Zkušební těleso č. 97

PP O C h15 b20 v0.1

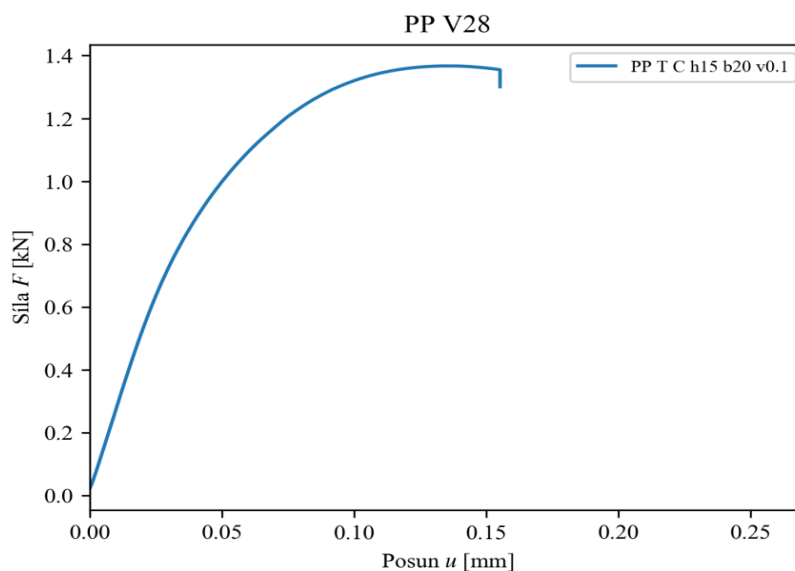
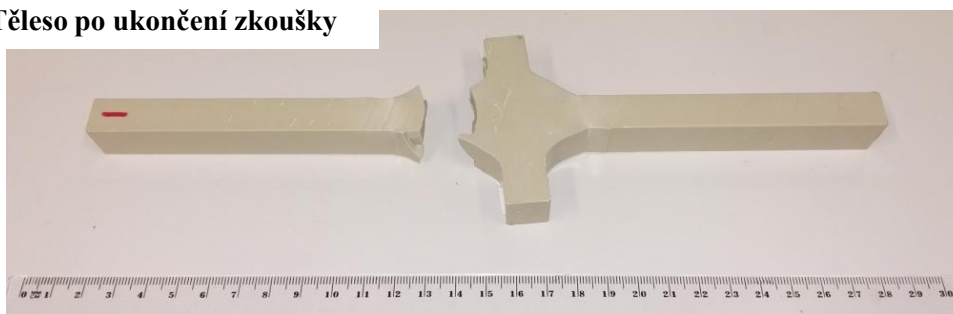
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	254,0	14,68	20,42	0,00	299,71

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	1,367	271,48	0,14

Těleso po ukončení zkoušky

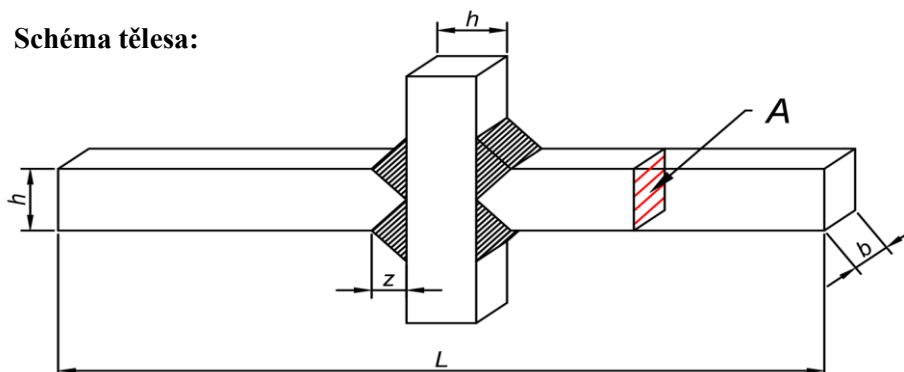


Zkušební těleso č. 98

PP O C h15 b20 v1.0

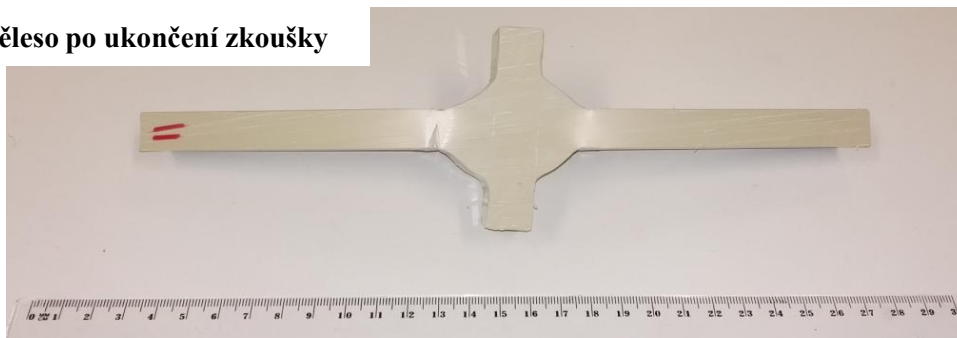
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	254,0	14,63	19,94	0,00	291,67

Schéma tělesa:

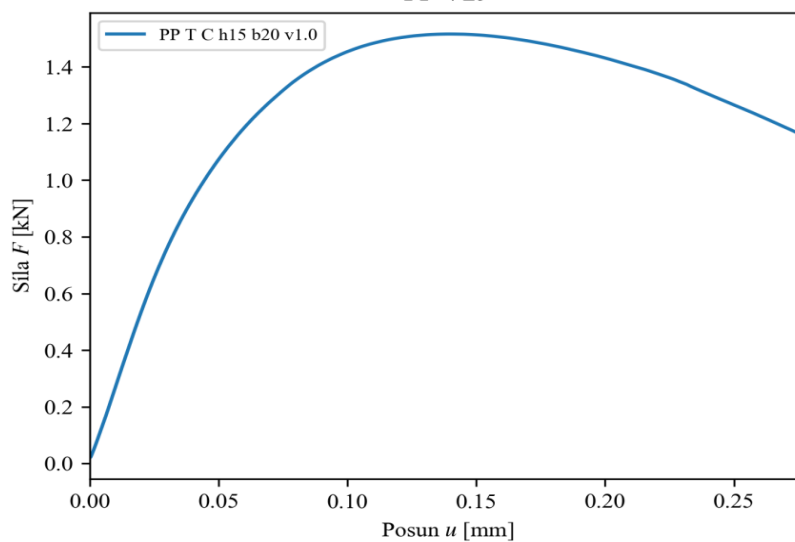


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,515	28,44	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PP V29

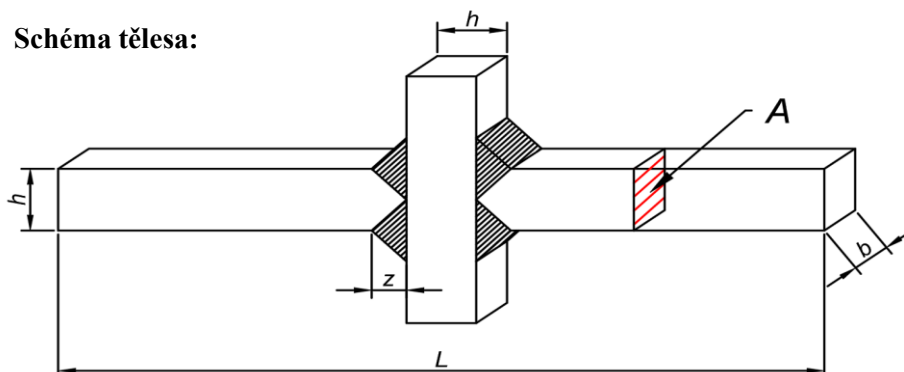


Zkušební těleso č. 99

PP O C h15 b20 v10.0

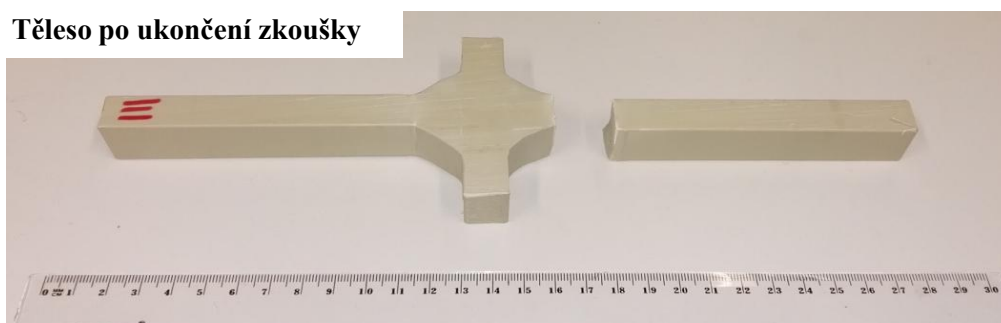
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	254,0	14,69	20,02	0,00	294,08

Schéma tělesa:

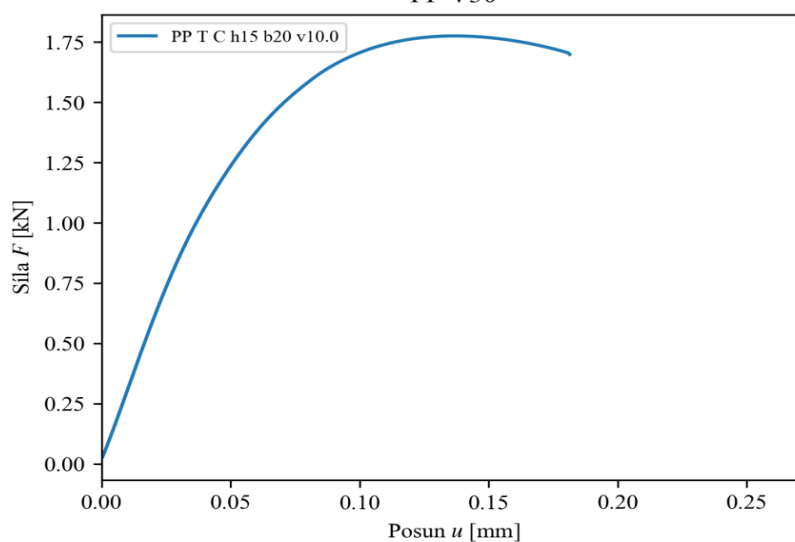


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	1,775	3,38	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PP V30

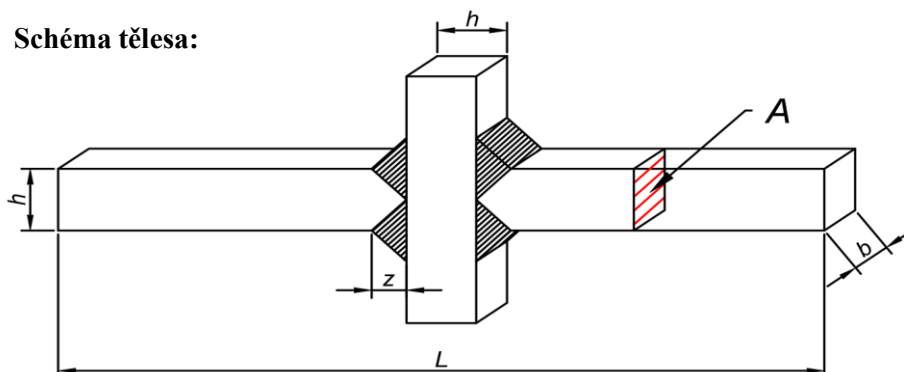


Zkušební těleso č. 100

PP O C h20 b20 v0.1

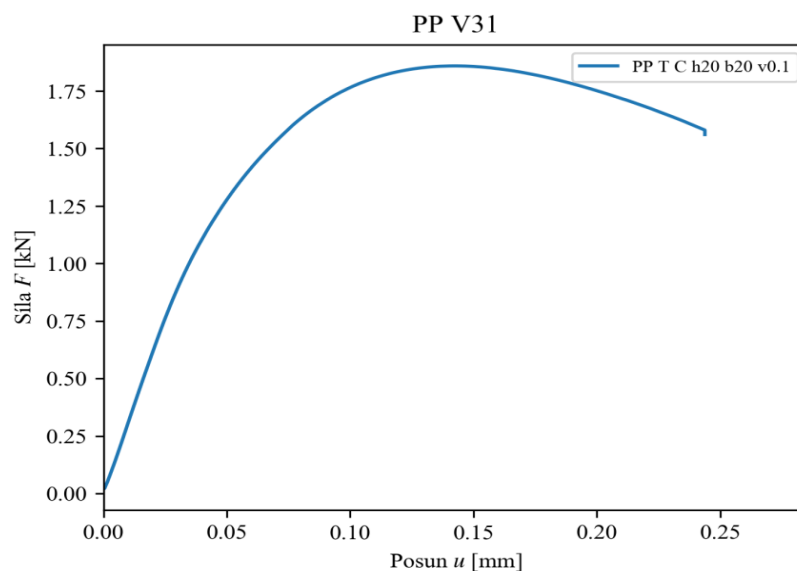
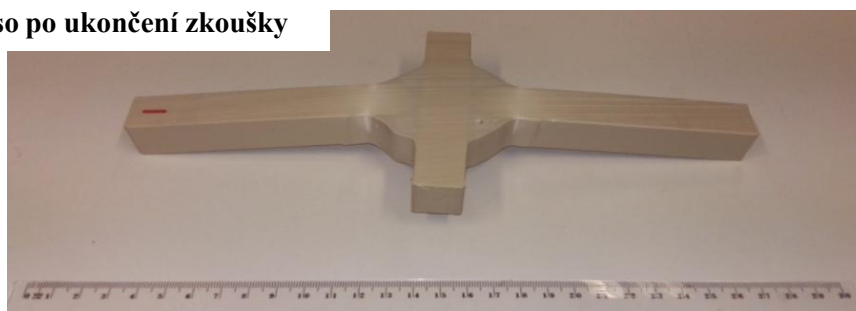
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	259,0	19,47	19,73	0,00	384,14

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	1,859	286,11	0,14

Těleso po ukončení zkoušky

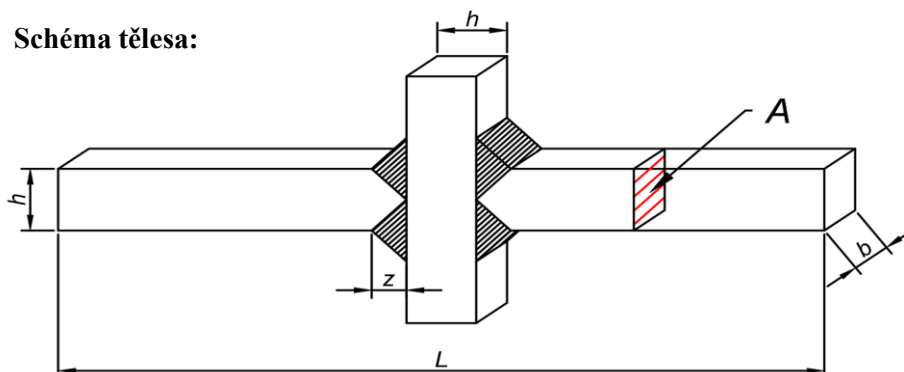


Zkušební těleso č. 101

PP O C h20 b20 v1.0

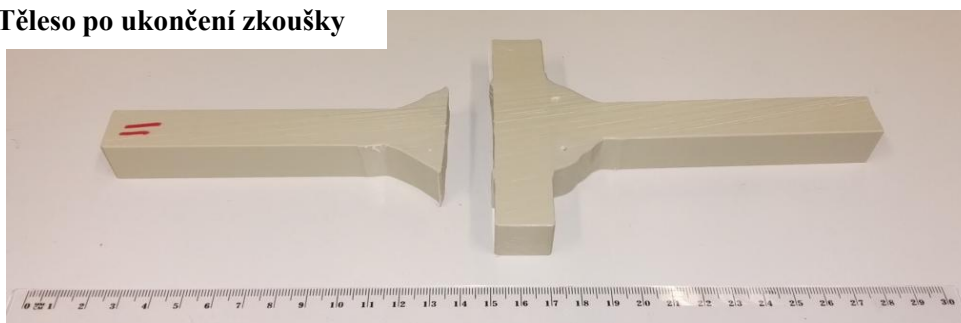
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	259,0	19,50	19,82	0,00	386,44

Schéma tělesa:

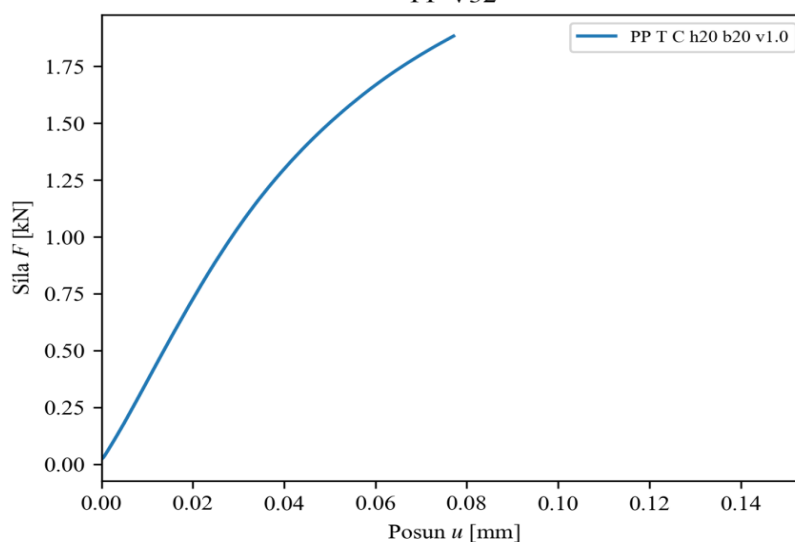


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,883	16,02	0,08

Těleso po ukončení zkoušky



PP V32

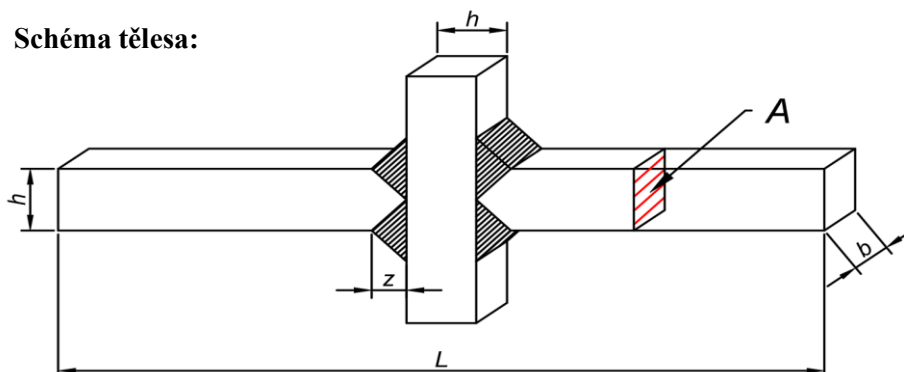


Zkušební těleso č. 102

PP O C h20 b20 v10.0

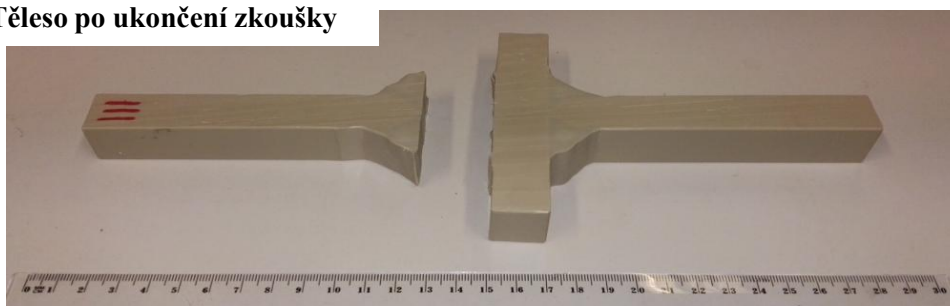
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	259,0	19,42	19,96	0,00	387,67

Schéma tělesa:

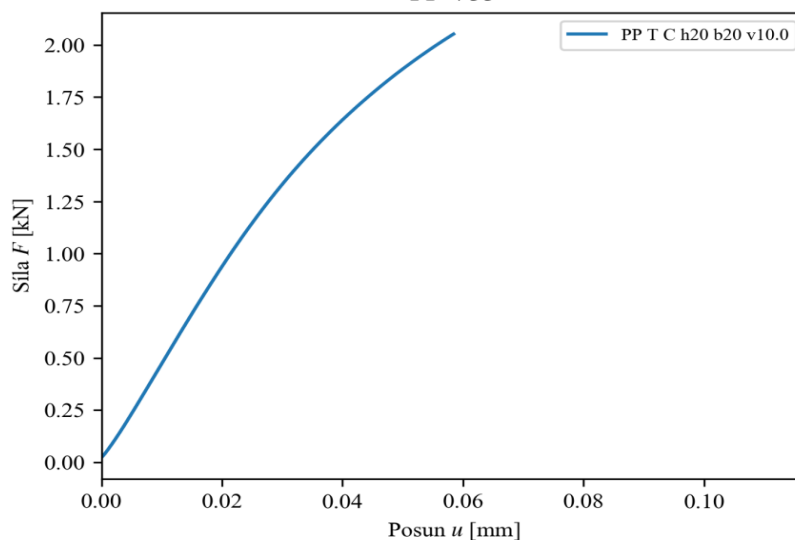


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	2,052	1,82	0,06

Těleso po ukončení zkoušky



PP V33

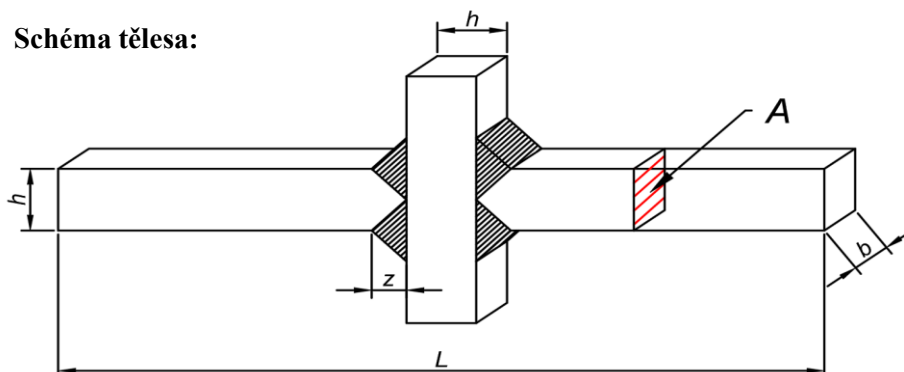


Zkušební těleso č. 103

PP O C h25 b25 v0.1

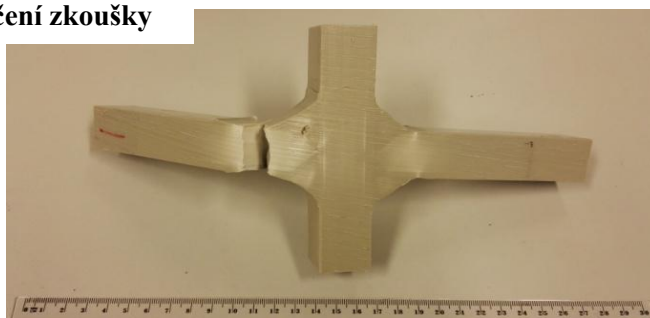
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	264,0	24,84	24,80	0,00	616,03

Schéma tělesa:

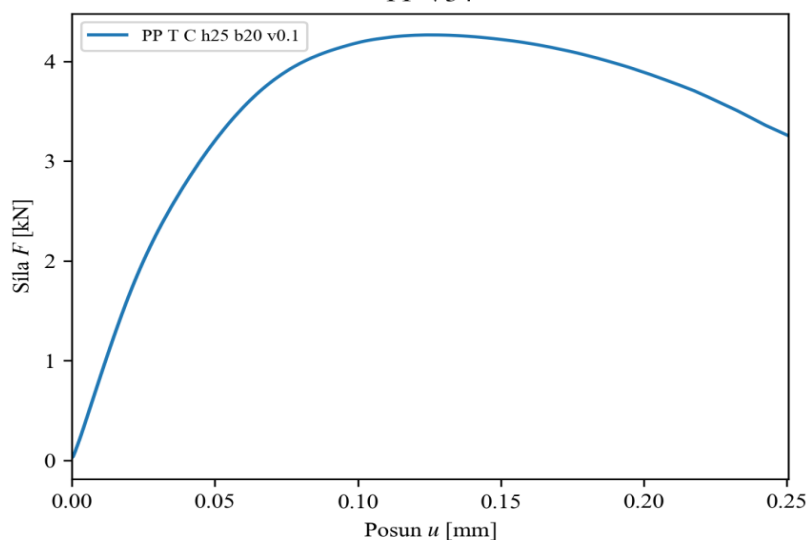


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	4,266	251,04	0,13

Těleso po ukončení zkoušky



PP V34

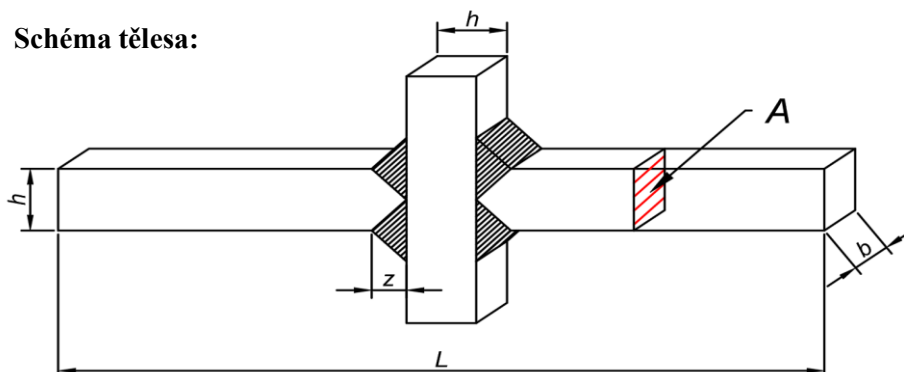


Zkušební těleso č. 104

PP O C h25 b25 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	264,0	24,83	24,77	0,00	614,98

Schéma tělesa:

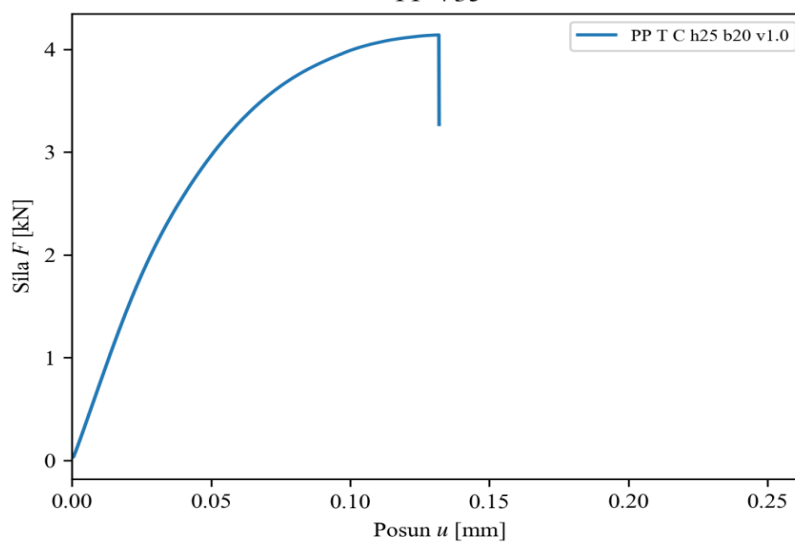


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	4,140	26,98	0,13

Těleso po ukončení zkoušky



PP V35

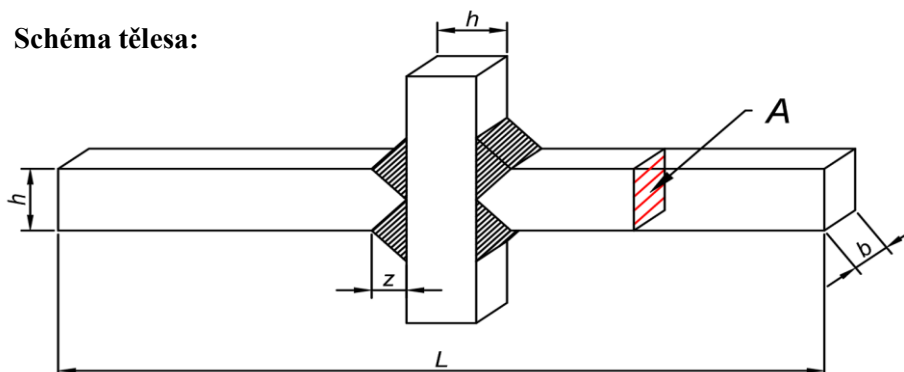


Zkušební těleso č. 105

PP O C h25 b25 v10.0

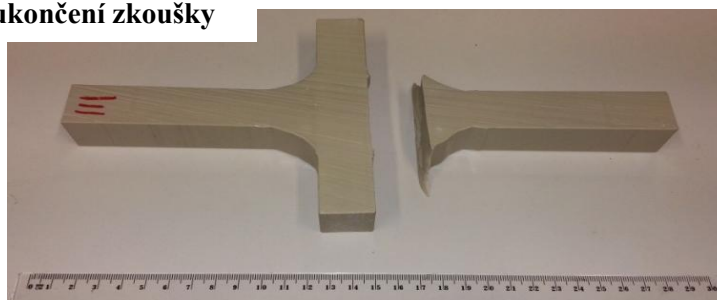
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polypropylén	C	264,0	24,80	24,77	0,00	614,23

Schéma tělesa:

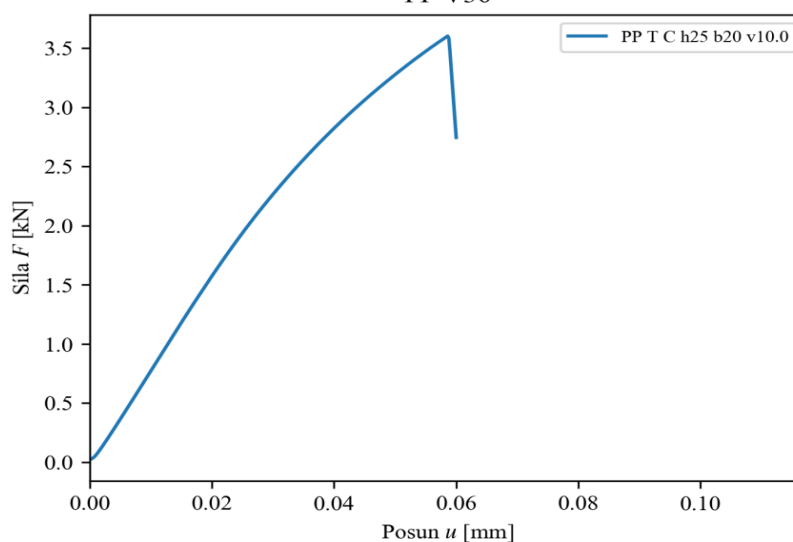


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	3,603	1,78	0,06

Těleso po ukončení zkoušky



PP V36

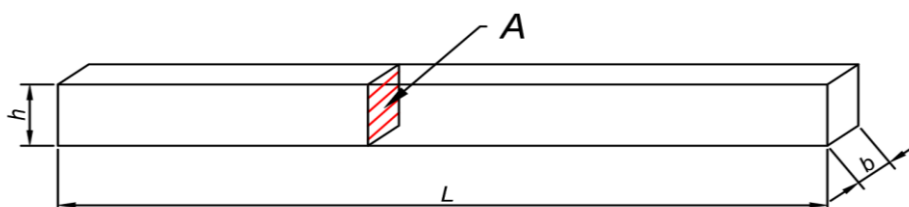


Zkušební těleso č. 106

PE O A h10 b20 v0.1

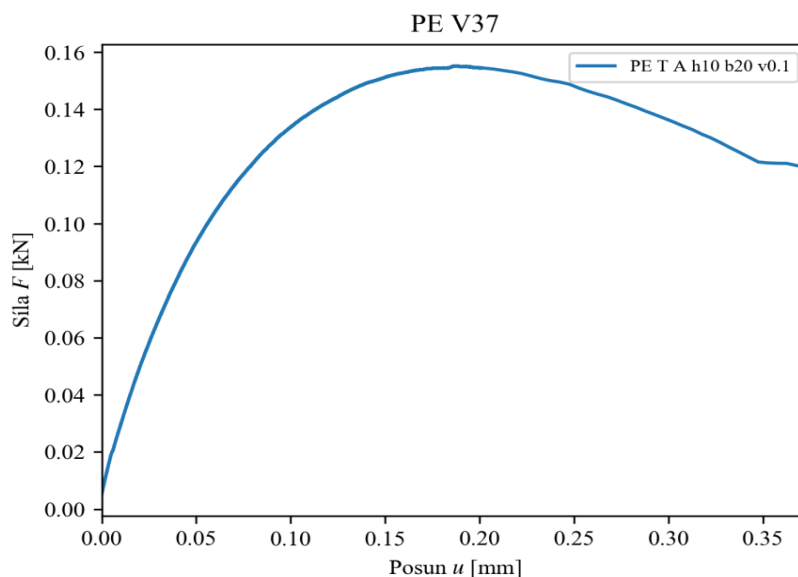
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	9,66	19,53	0,00	188,58

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,155	374,24	0,19

Těleso po ukončení zkoušky

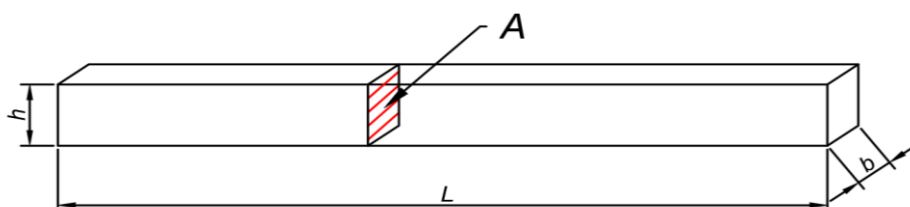


Zkušební těleso č. 107

PE O A h10 b20 v1.0

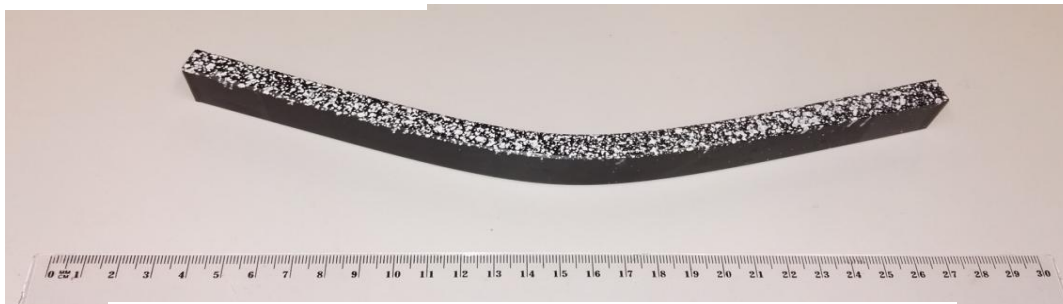
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	9,66	20,07	0,00	193,91

Schéma tělesa:

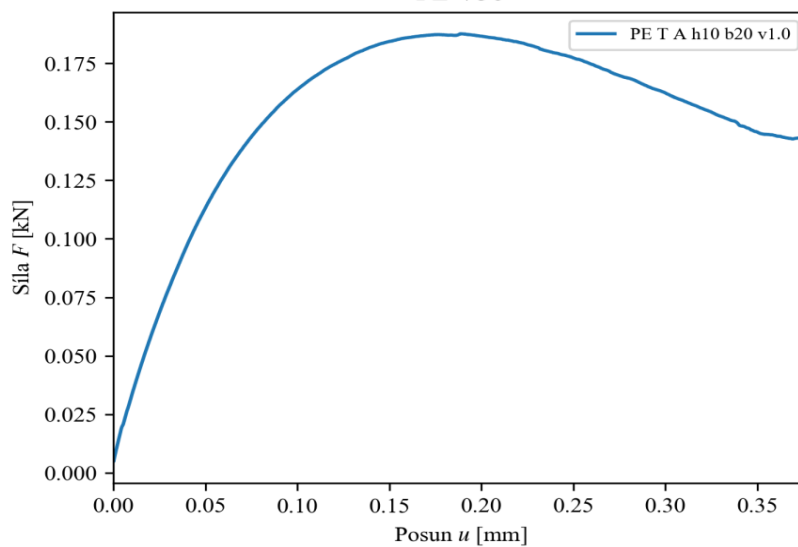


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,187	38,34	0,19

Těleso po ukončení zkoušky



PE V38

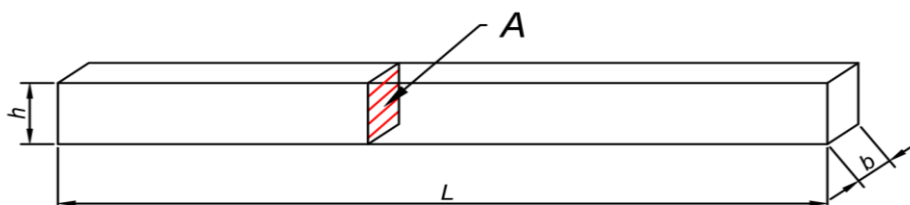


Zkušební těleso č. 108

PE O A h10 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	9,66	20,10	0,00	194,21

Schéma tělesa:

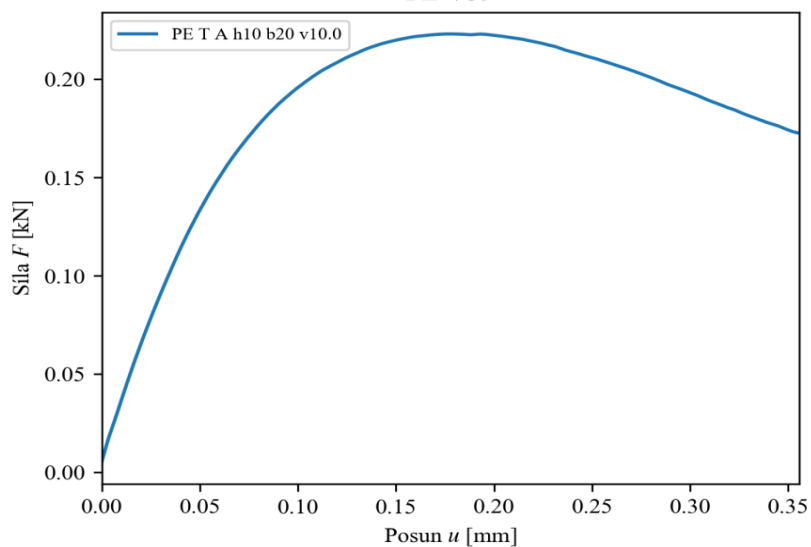


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,223	4,14	0,18

Těleso po ukončení zkoušky



PE V39

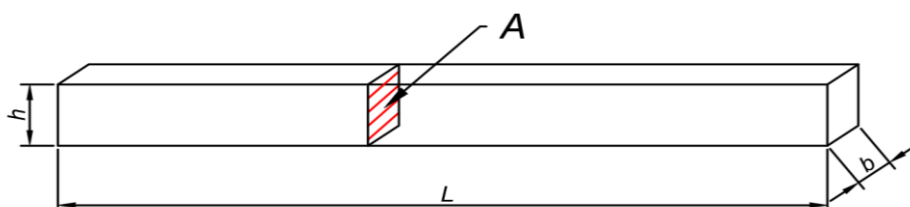


Zkušební těleso č. 109

PE O A h15 b20 v0.1

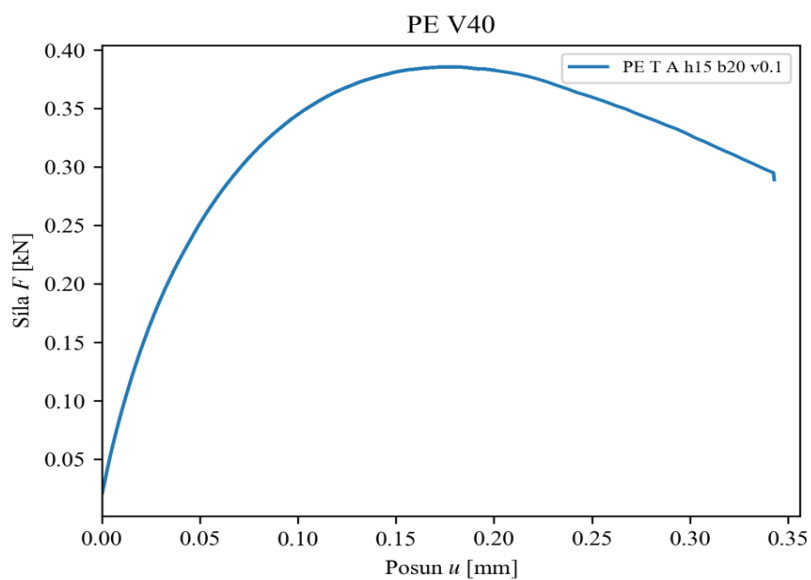
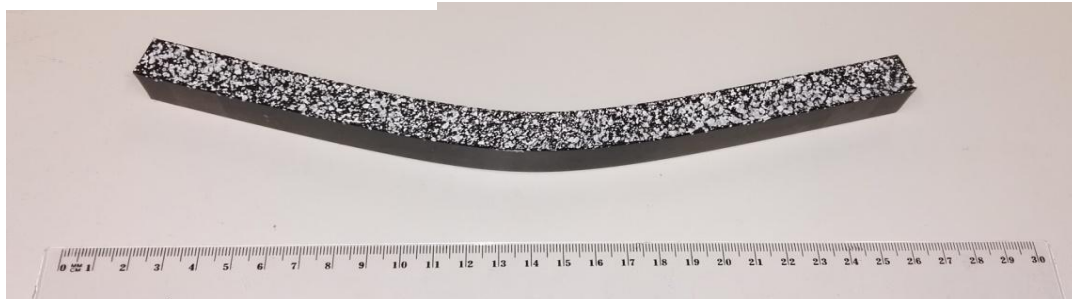
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	A	251,0	14,75	20,35	0,00	300,15

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	0,1	0,386	356,64	0,18

Těleso po ukončení zkoušky

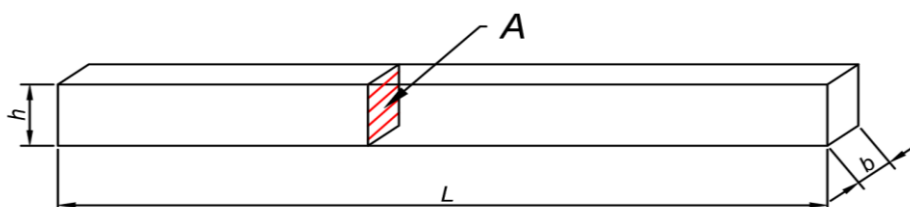


Zkušební těleso č. 110

PE O A h15 b20 v1.0

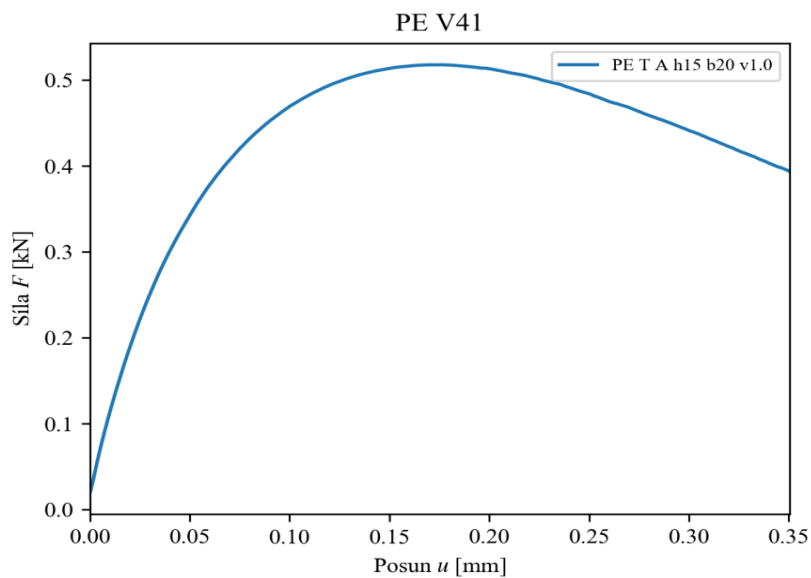
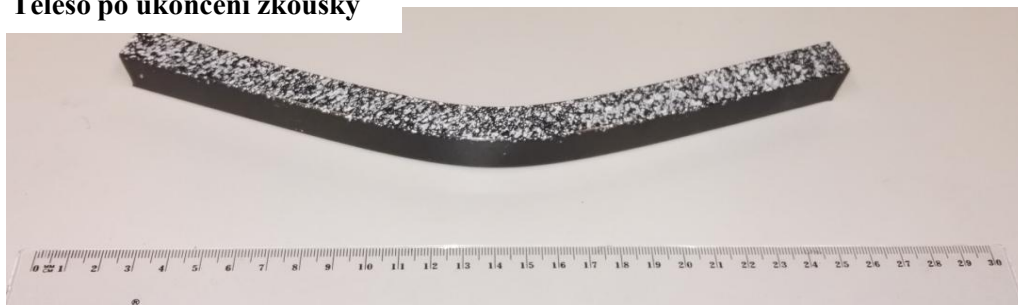
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	A	251,0	14,76	19,80	0,00	292,14

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	1	0,517	35,65	0,18

Těleso po ukončení zkoušky

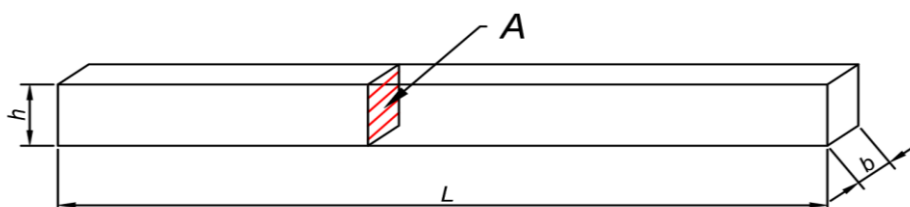


Zkušební těleso č. 111

PE O A h15 b20 v10.0

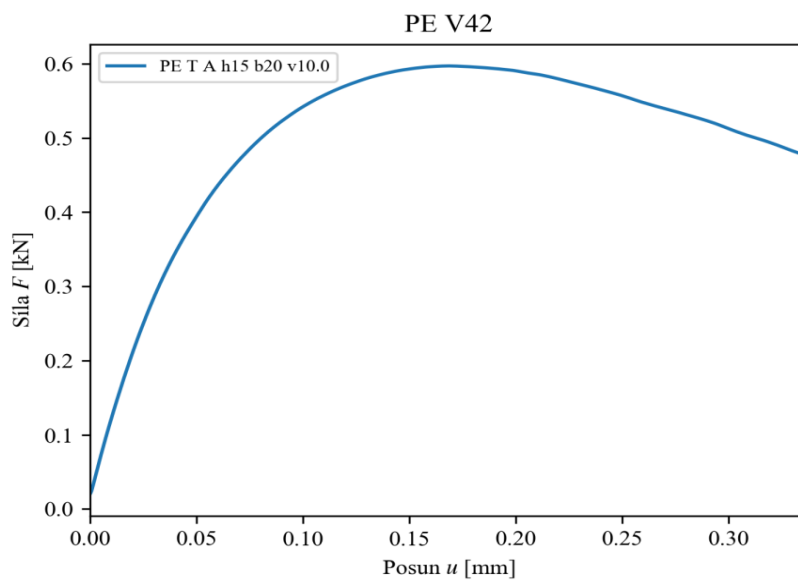
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	A	251,0	14,67	19,54	0,00	286,66

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	10	0,597	3,98	0,17

Těleso po ukončení zkoušky

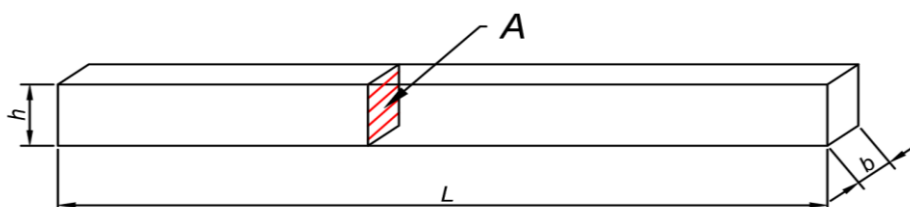


Zkušební těleso č. 112

PE O A h20 b20 v0.1

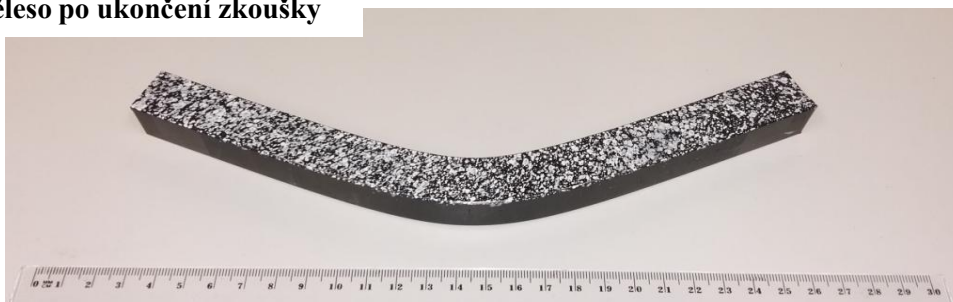
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	A	251,0	19,75	19,97	0,00	394,33

Schéma tělesa:

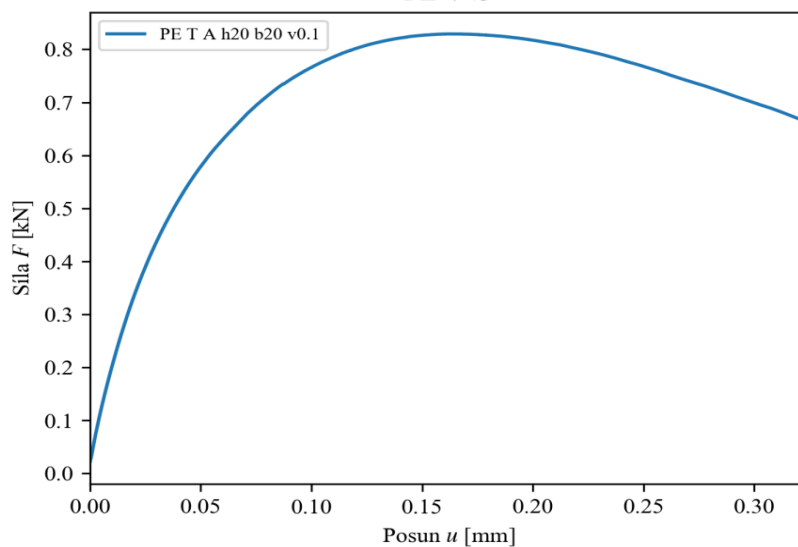


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	0,1	0,829	324,64	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V43

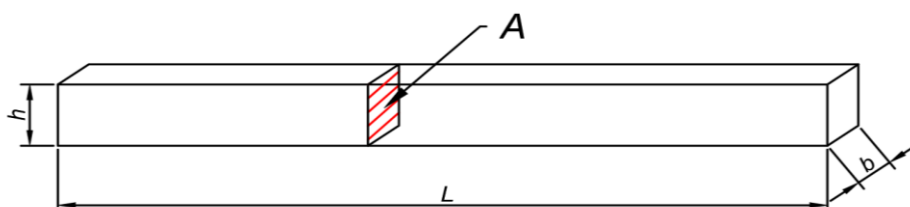


Zkušební těleso č. 113

PE O A h20 b20 v1.0

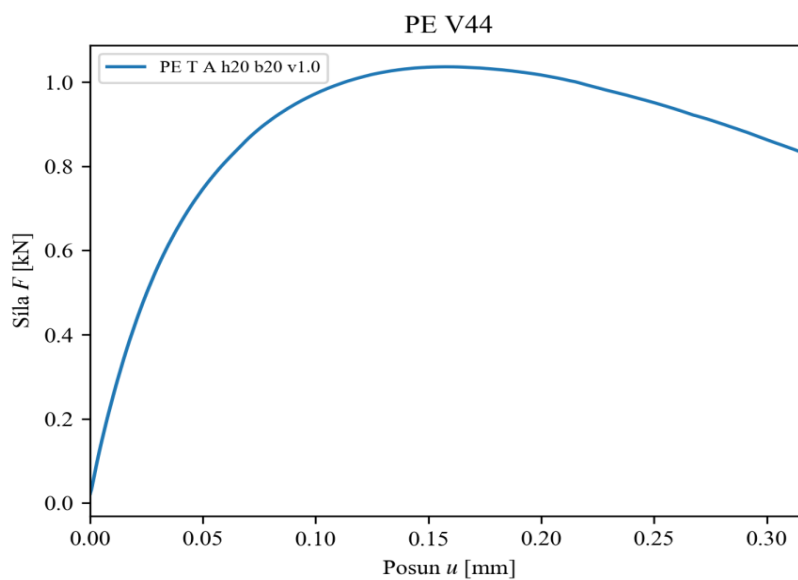
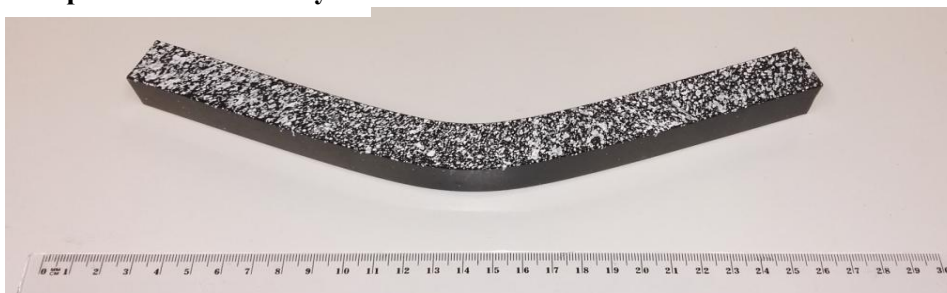
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu A [mm ²]
		L [mm]	h [mm]	b [mm]	z [mm]	
polyetylén	A	251,0	19,76	19,74	0,00	390,06

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	1	1,036	32,40	0,16

Těleso po ukončení zkoušky

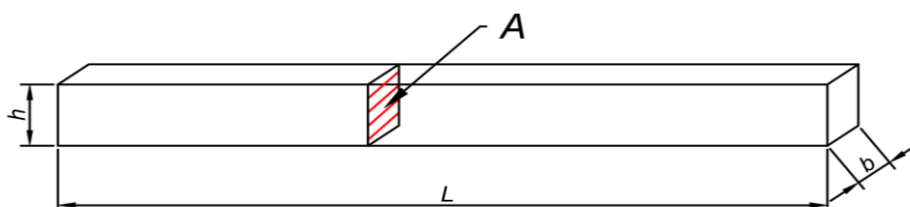


Zkušební těleso č. 114

PE O A h20 b20 v10.0

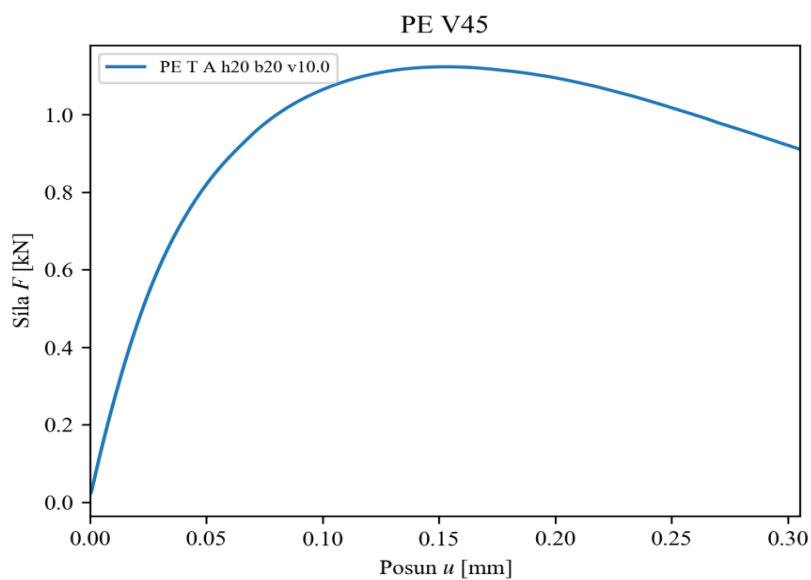
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	A	251,0	19,73	19,16	0,00	378,02

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	1,124	3,66	0,15

Těleso po ukončení zkoušky

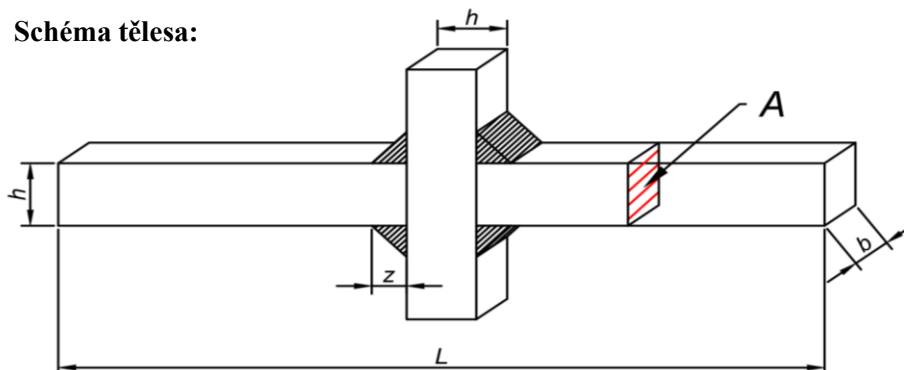


Zkušební těleso č. 115

PE O B h10 b20 v0.1

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	251,5	9,72	19,53	0,00	189,86

Schéma tělesa:

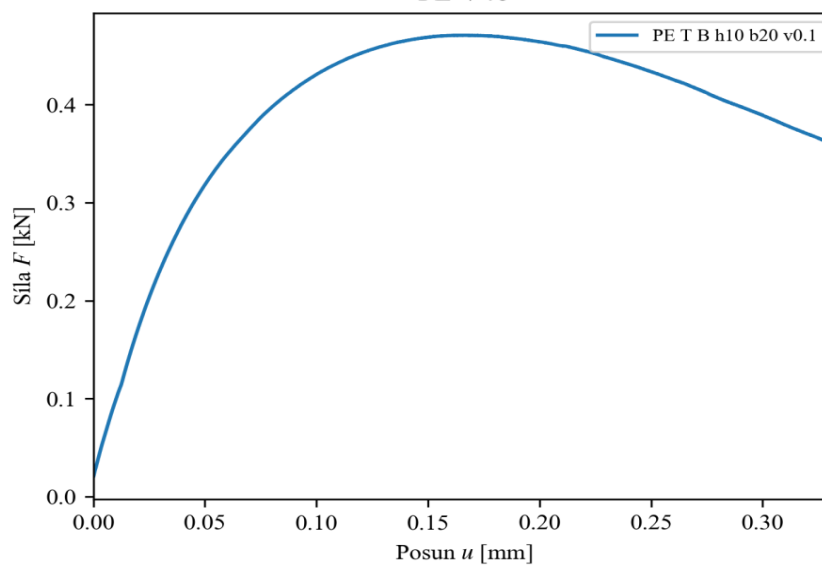


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,471	332,94	0,17

Těleso po ukončení zkoušky



PE V46

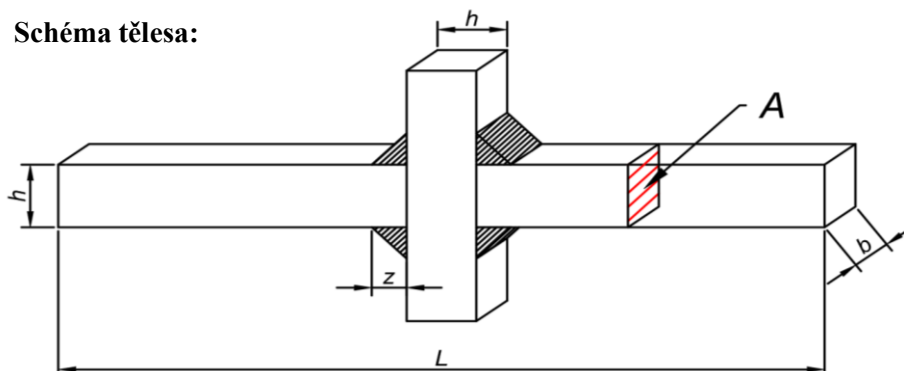


Zkušební těleso č. 116

PE O B h10 b20 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	251,5	9,73	20,08	0,00	195,38

Schéma tělesa:

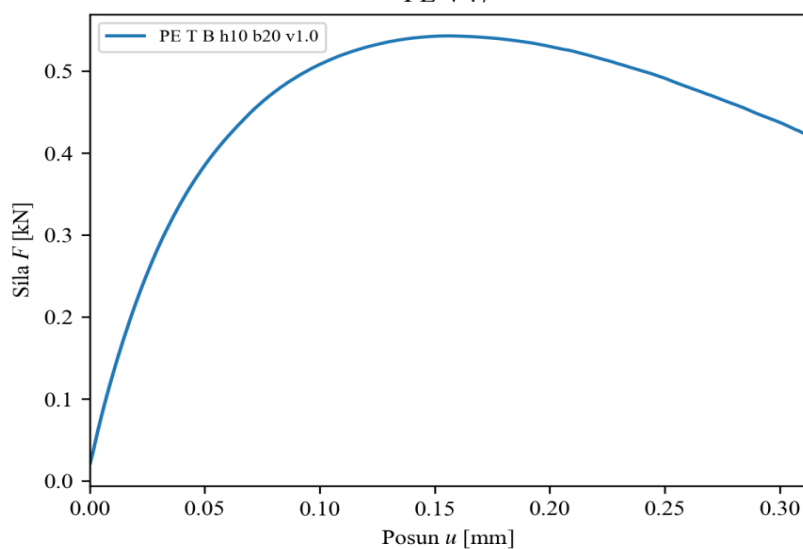


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,543	31,78	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V47

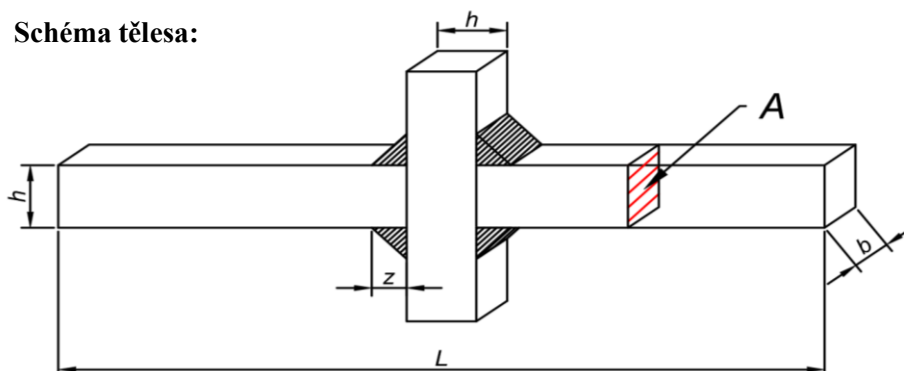


Zkušební těleso č. 117

PE O B h10 b20 v10.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	251,5	9,72	20,10	0,00	195,30

Schéma tělesa:

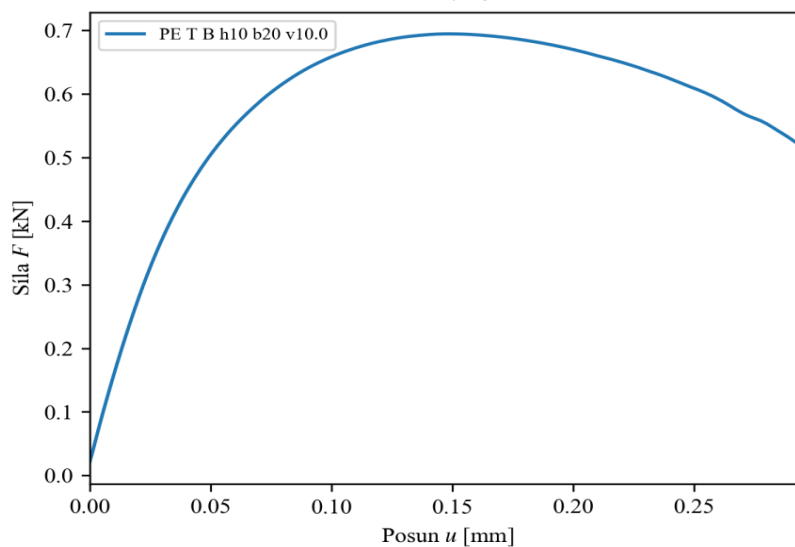


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,695	3,64	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PE V48

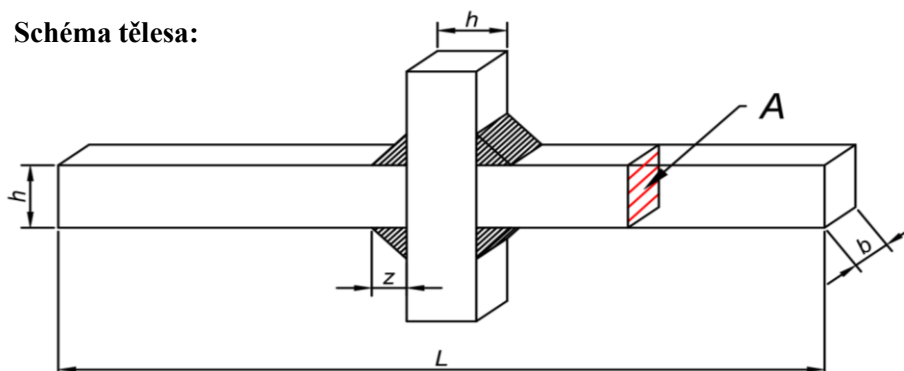


Zkušební těleso č. 118

PE O B h15 b20 v0.1

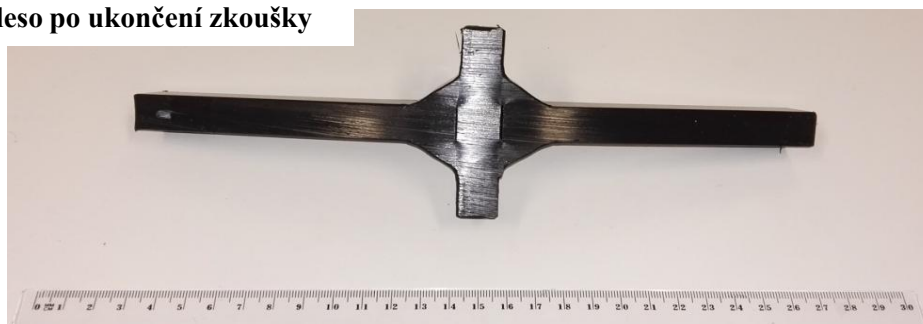
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	255,0	14,76	20,36	0,00	300,48

Schéma tělesa:

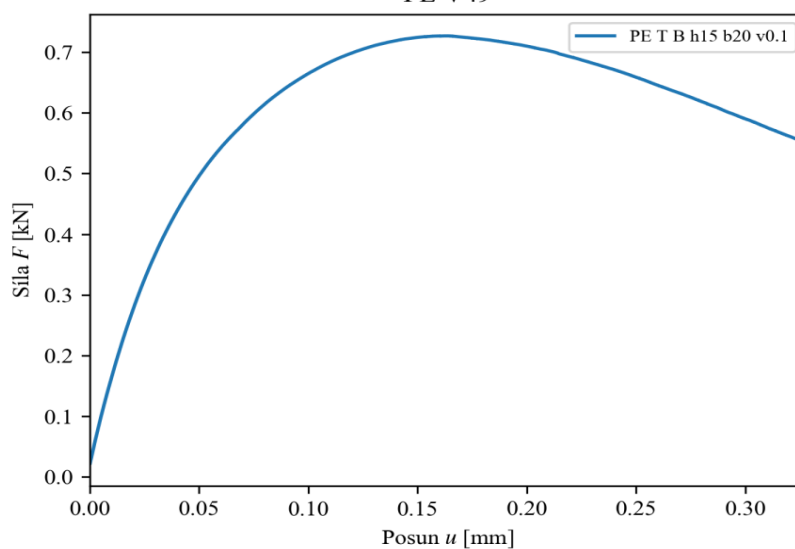


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,727	328,22	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V49

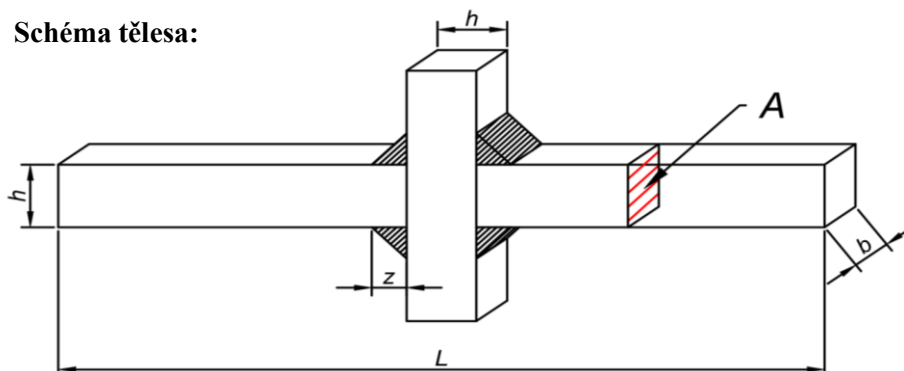


Zkušební těleso č. 119

PE O B h15 b20 v1.0

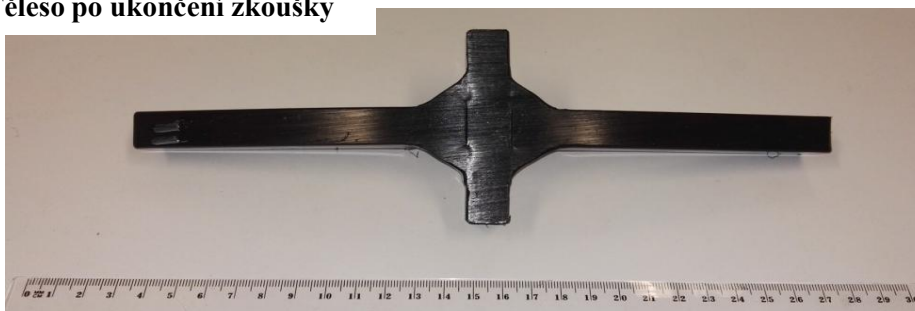
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	255,0	14,76	19,81	0,00	292,40

Schéma tělesa:

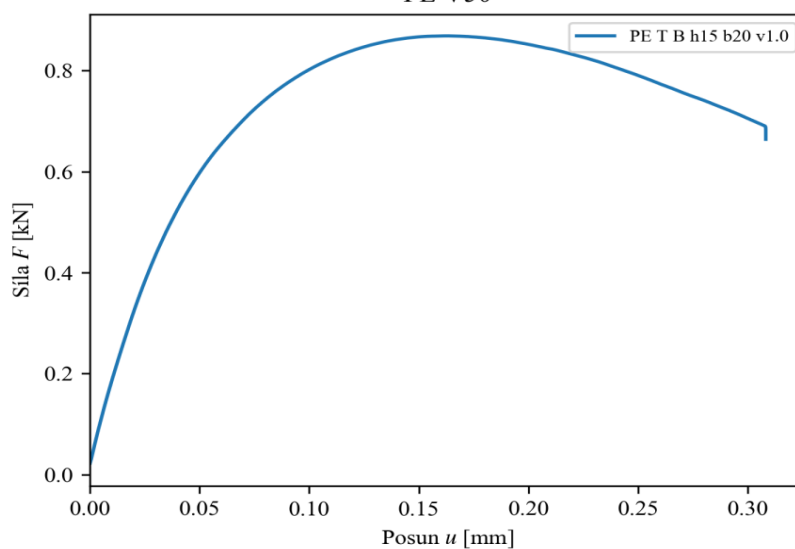


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,869	33,28	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V50

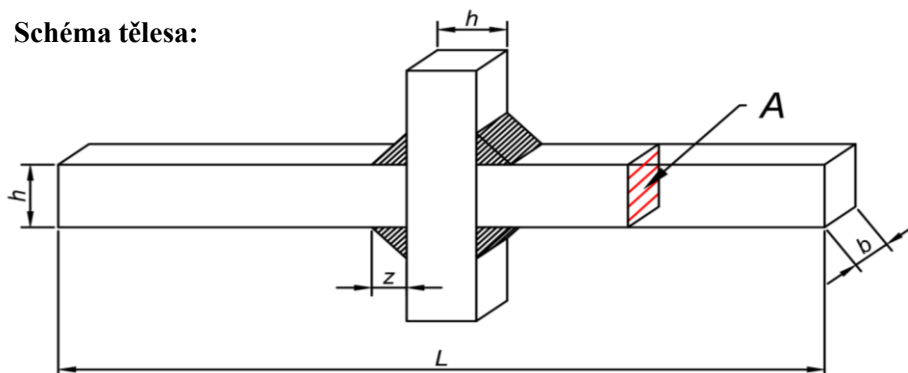


Zkušební těleso č. 120

PE O B h15 b20 v10.0

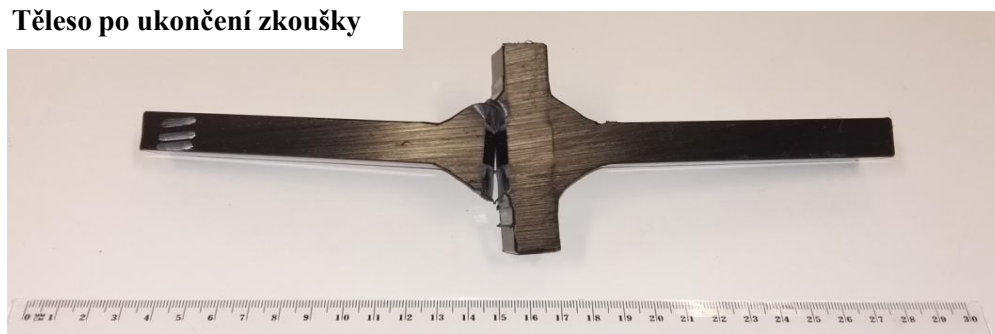
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	255,0	14,70	19,49	0,00	286,51

Schéma tělesa:

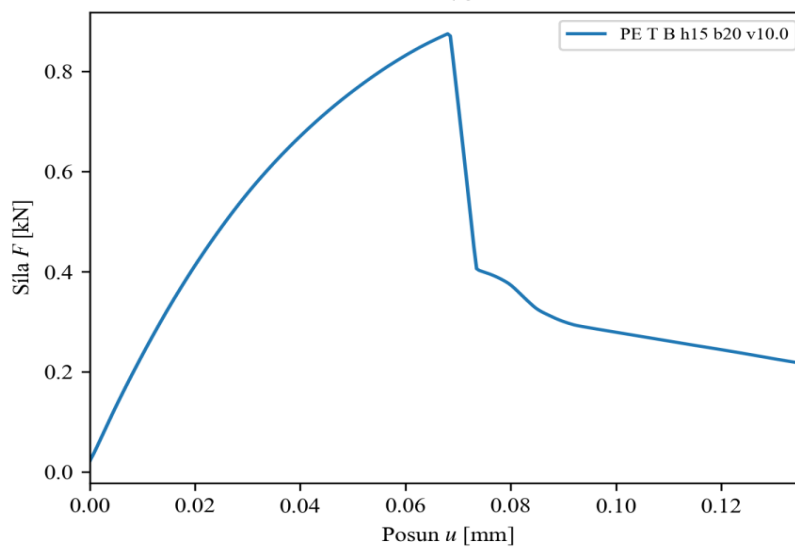


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,875	2,06	0,07

Těleso po ukončení zkoušky



PE V51

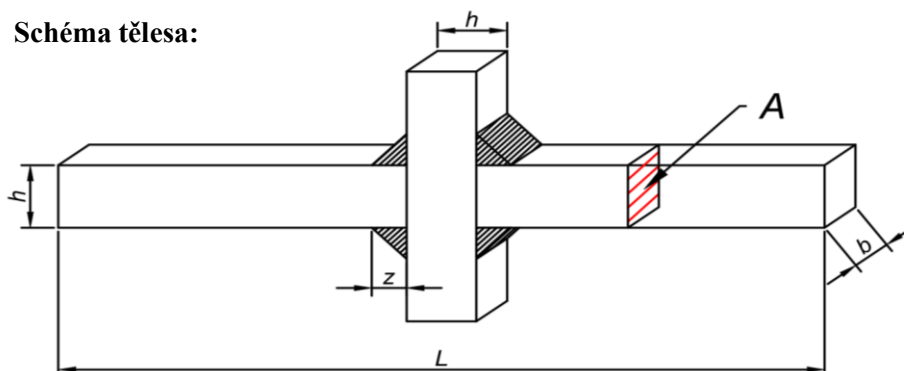


Zkušební těleso č. 121

PE O B h20 b20 v0.1

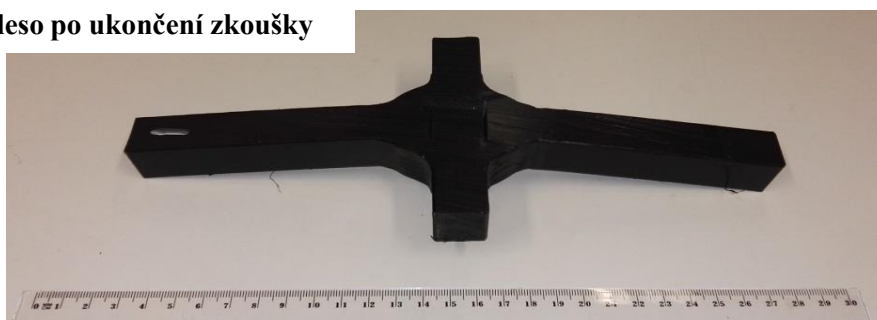
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	260,0	19,80	19,97	0,00	395,31

Schéma tělesa:

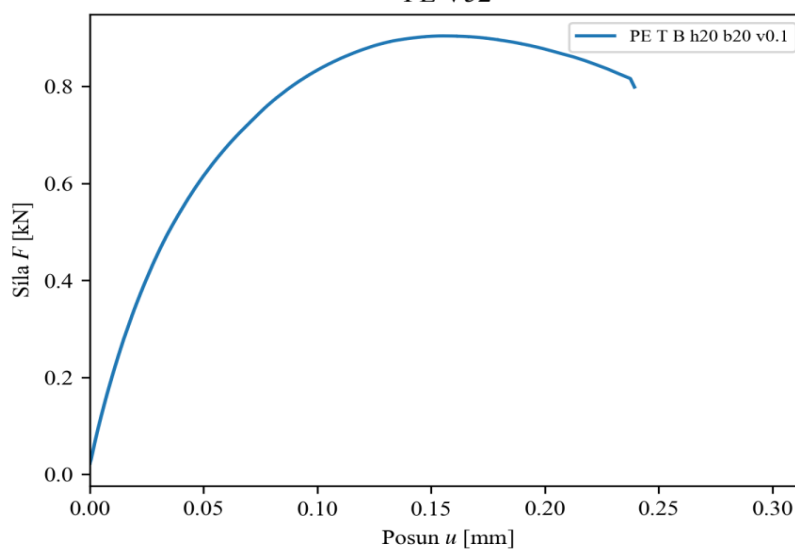


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,904	315,14	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V52

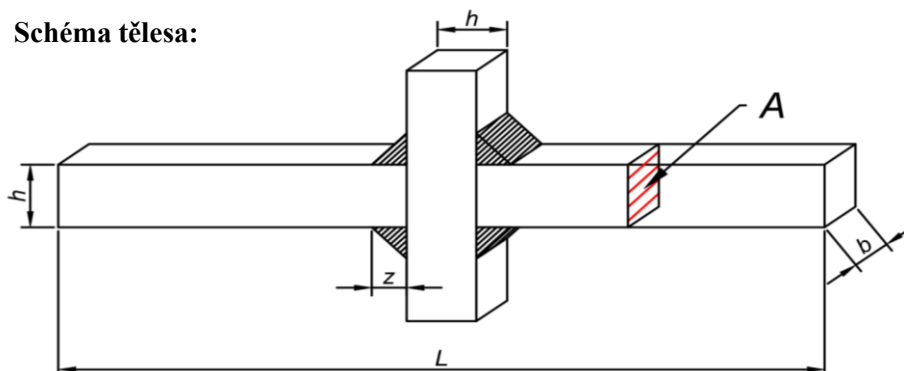


Zkušební těleso č. 122

PE O B h20 b20 v1.0

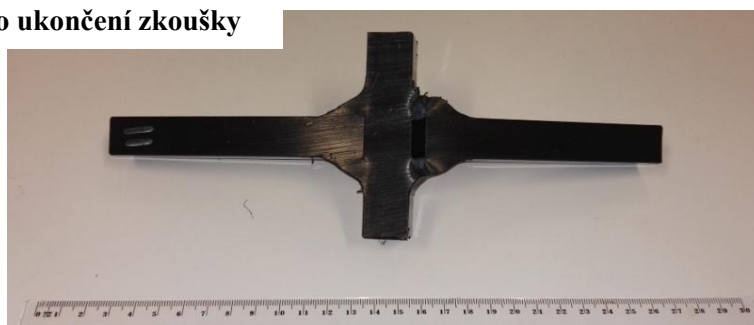
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	260,0	19,77	19,75	0,00	390,26

Schéma tělesa:

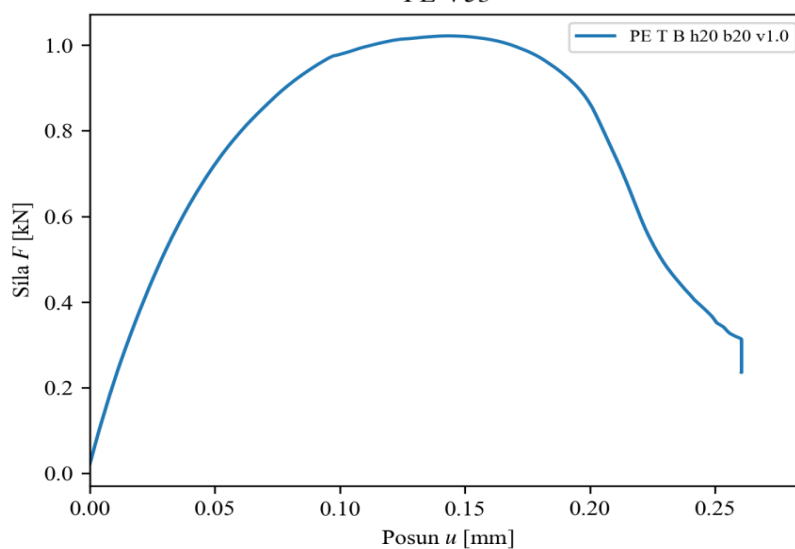


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,021	29,23	0,14

Těleso po ukončení zkoušky



PE V53

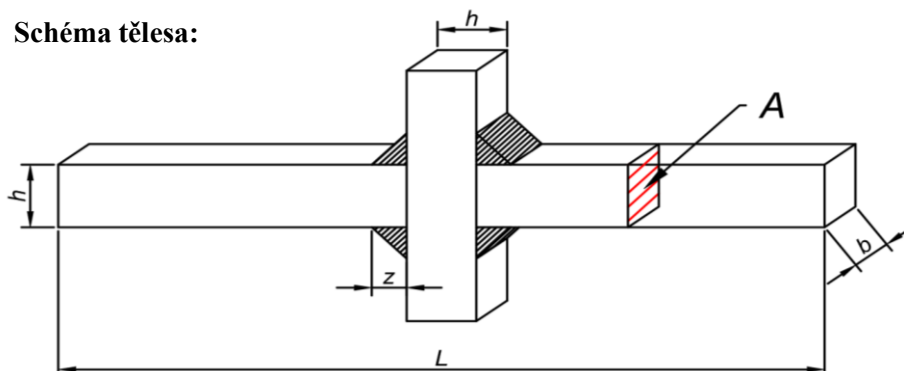


Zkušební těleso č. 123

PE O B h20 b20 v10.0

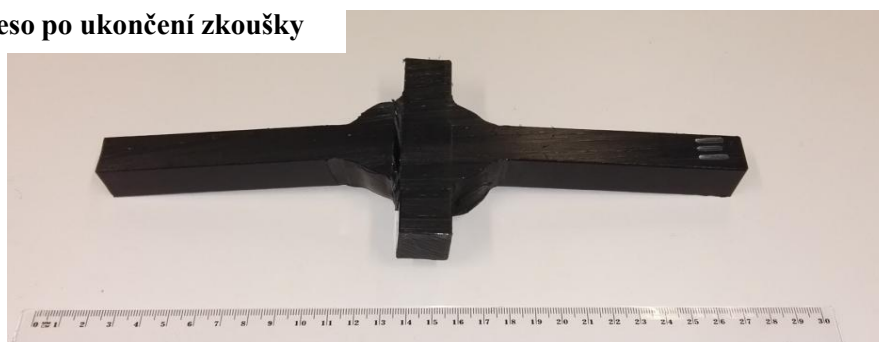
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	260,0	19,76	19,17	0,00	378,70

Schéma tělesa:

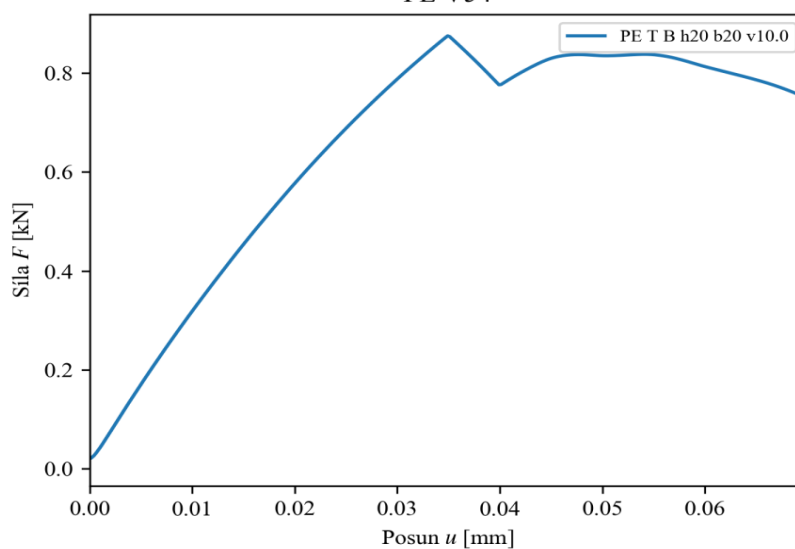


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,875	1,29	0,03

Těleso po ukončení zkoušky



PE V54

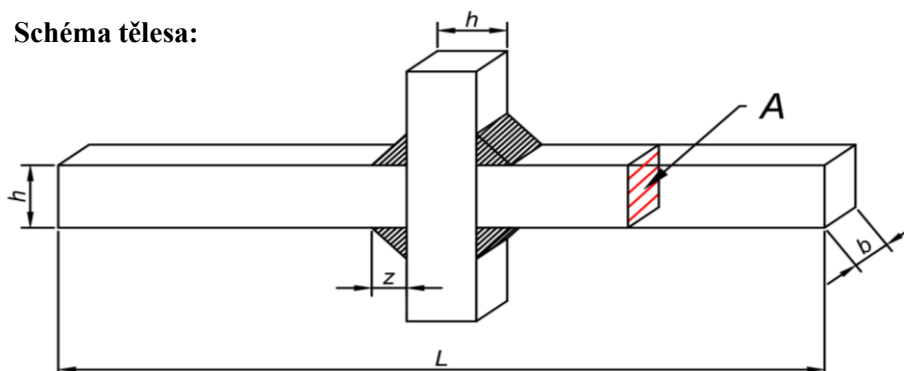


Zkušební těleso č. 124

PE O B h25 b25 v0.1

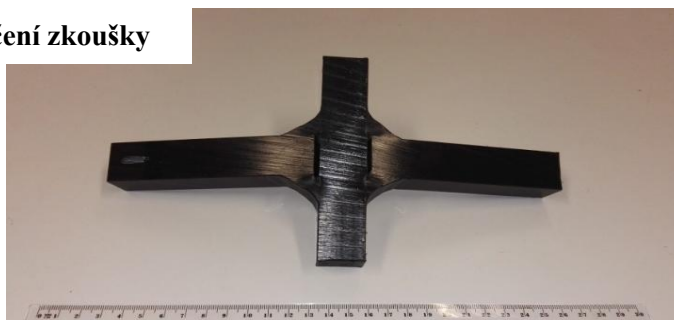
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	265,0	24,86	24,80	0,00	616,47

Schéma tělesa:

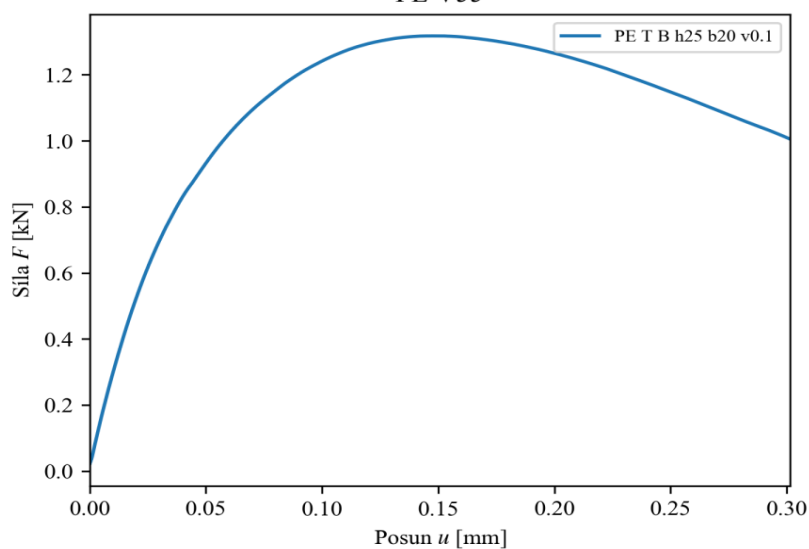


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
	0,1	1,317	302,12	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PE V55

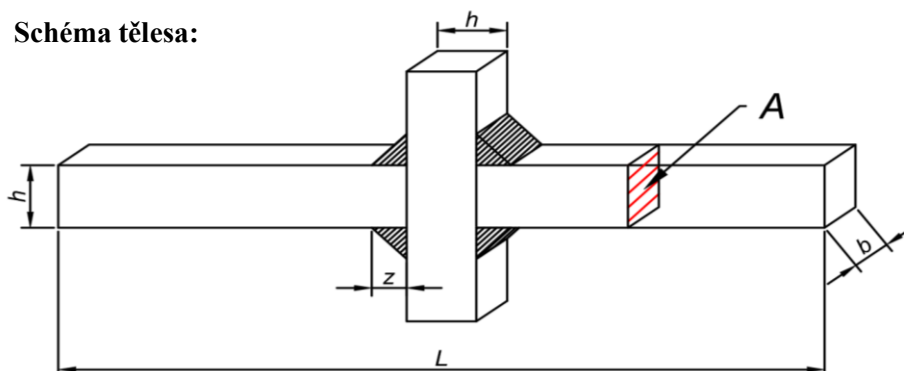


Zkušební těleso č. 125

PE O B h25 b25 v1.0

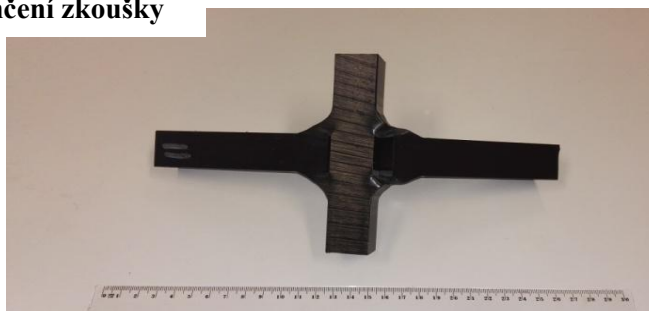
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	265,0	24,79	24,77	0,00	613,92

Schéma tělesa:

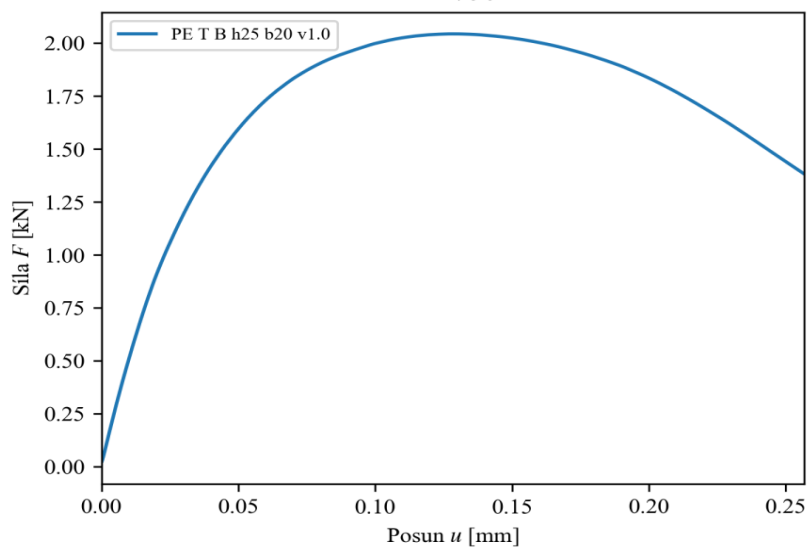


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	1	2,043	26,27	0,13

Těleso po ukončení zkoušky



PE V56

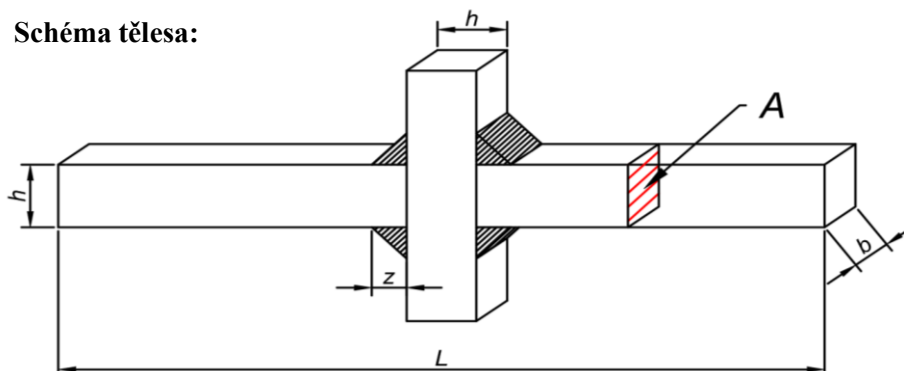


Zkušební těleso č. 126

PE O B h25 b25 v10.0

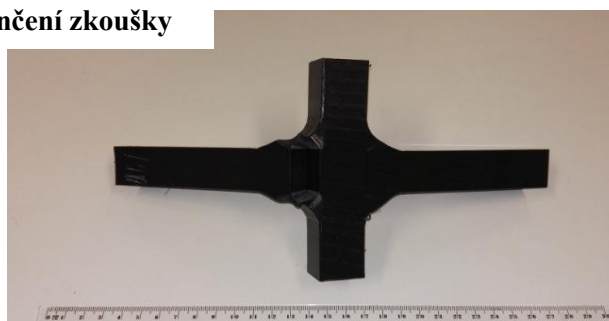
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	B	265,0	24,82	24,77	0,00	614,79

Schéma tělesa:

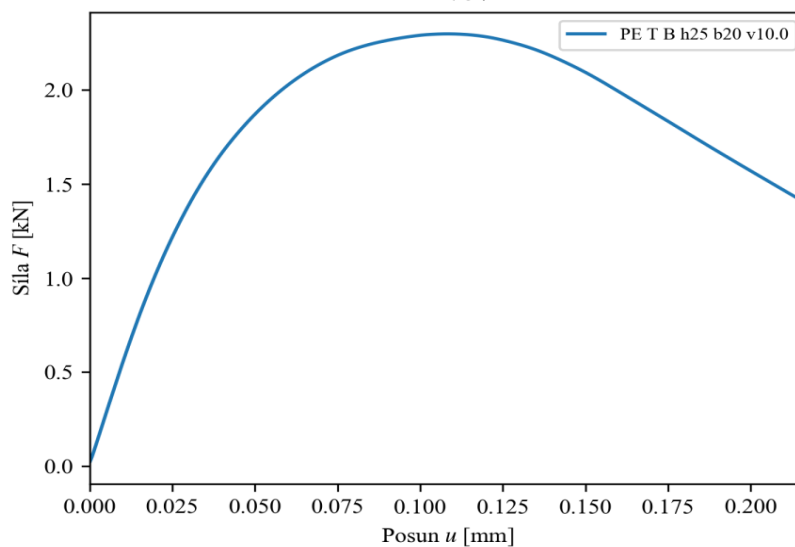


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování v [mm/s]	Maximální síla F_{\max} [kN]	Čas při F_{\max} t_{\max} [s]	Posun při F_{\max} u_{\max} [mm]
Ohyb	10	2,298	2,77	0,11

Těleso po ukončení zkoušky



PE V57

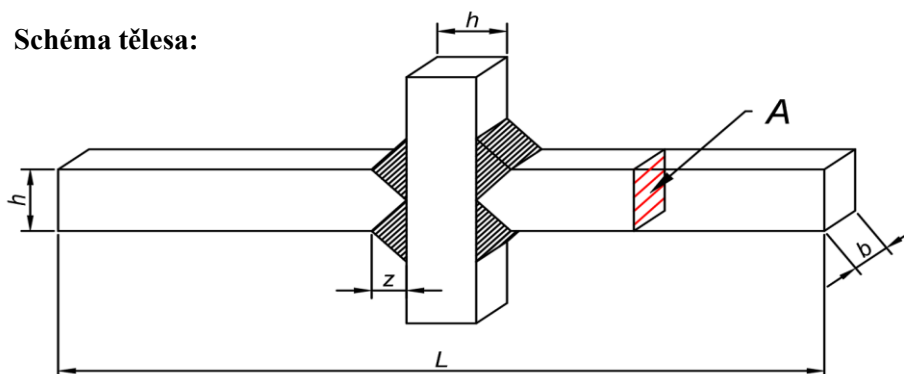


Zkušební těleso č. 127

PE O C h10 b20 v0.1

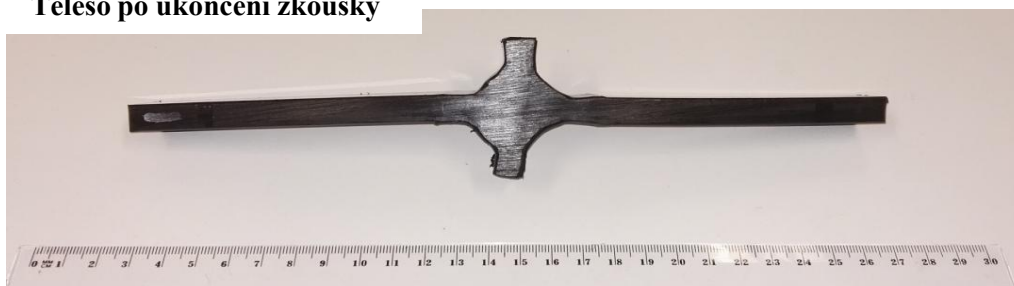
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	249,5	9,72	19,53	0,00	189,86

Schéma tělesa:

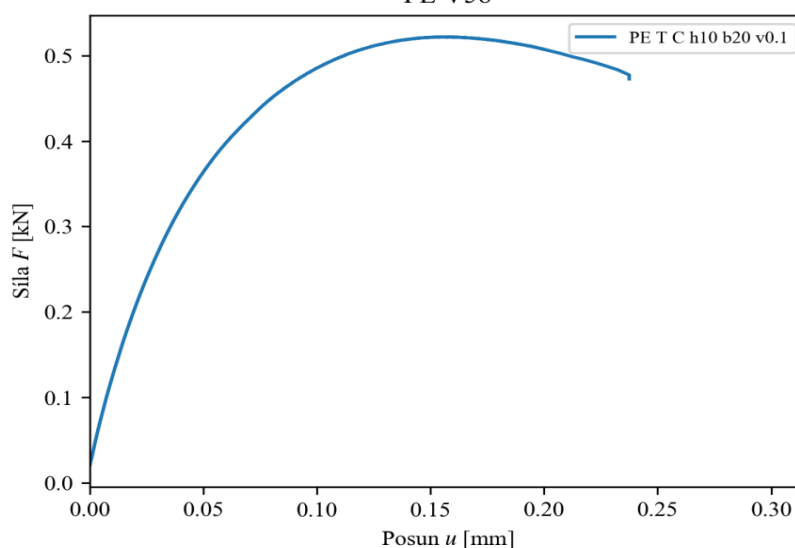


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,522	315,72	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V58

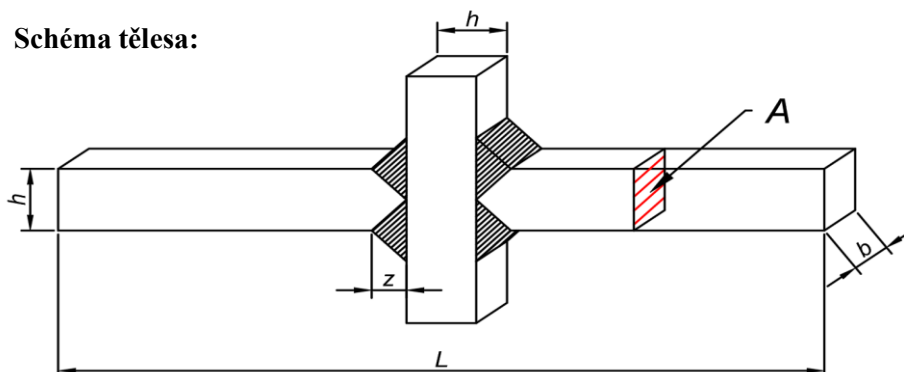


Zkušební těleso č. 128

PE O C h10 b20 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	249,5	9,76	20,08	0,00	195,83

Schéma tělesa:

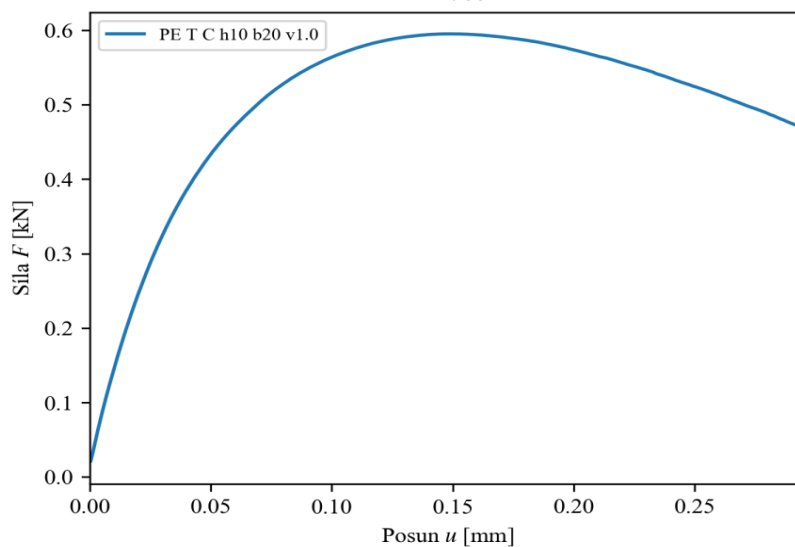


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,595	30,17	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PE V59

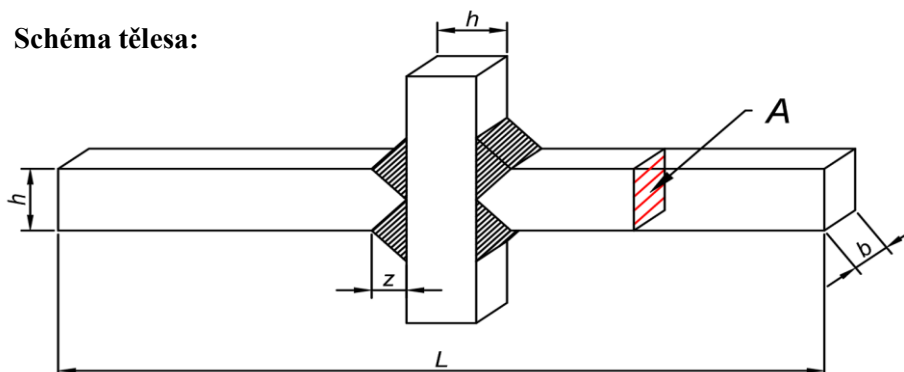


Zkušební těleso č. 129

PE O C h10 b20 v10.0

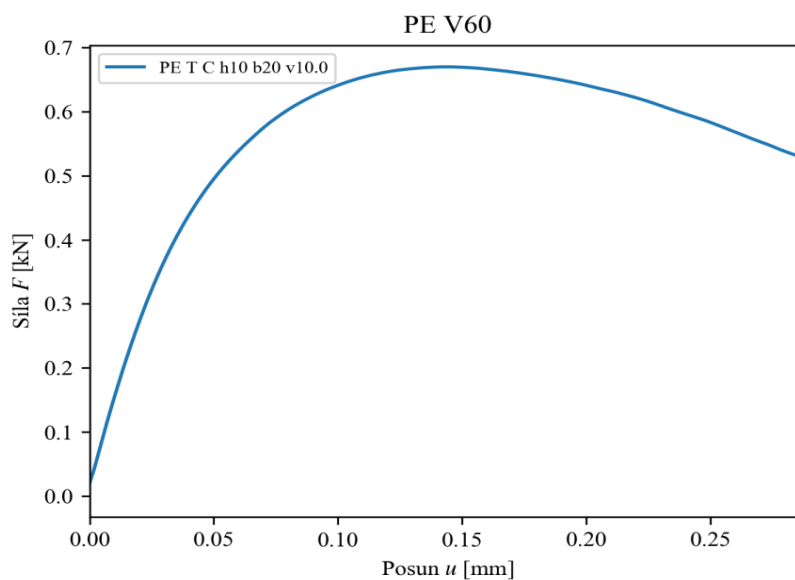
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	249,5	9,74	20,10	0,00	195,70

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	0,670	3,46	0,14

Těleso po ukončení zkoušky

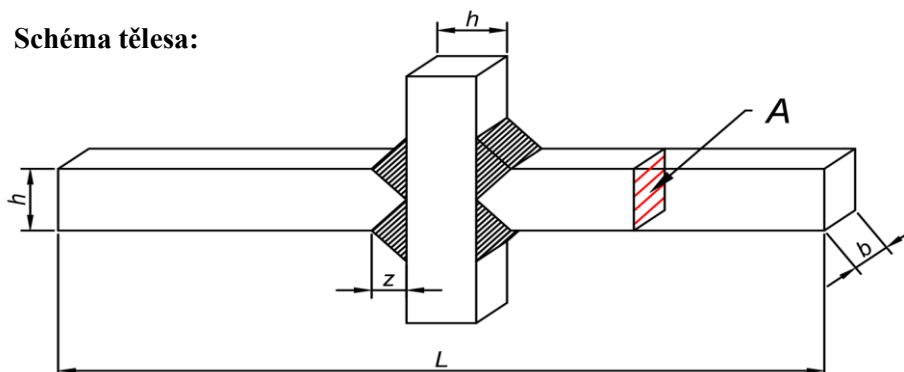


Zkušební těleso č. 130

PE O C h15 b20 v0.1

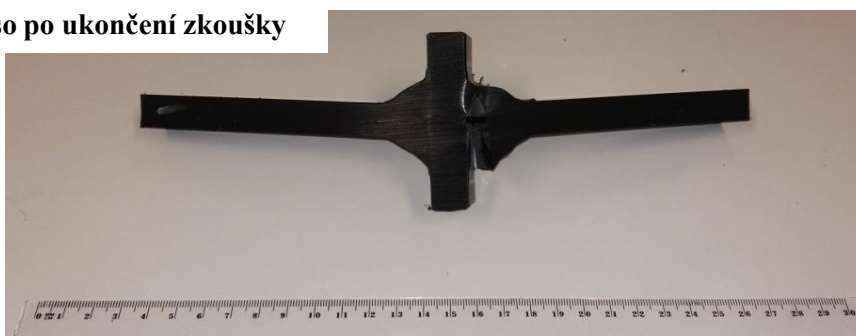
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	254,0	14,75	20,36	0,00	300,27

Schéma tělesa:

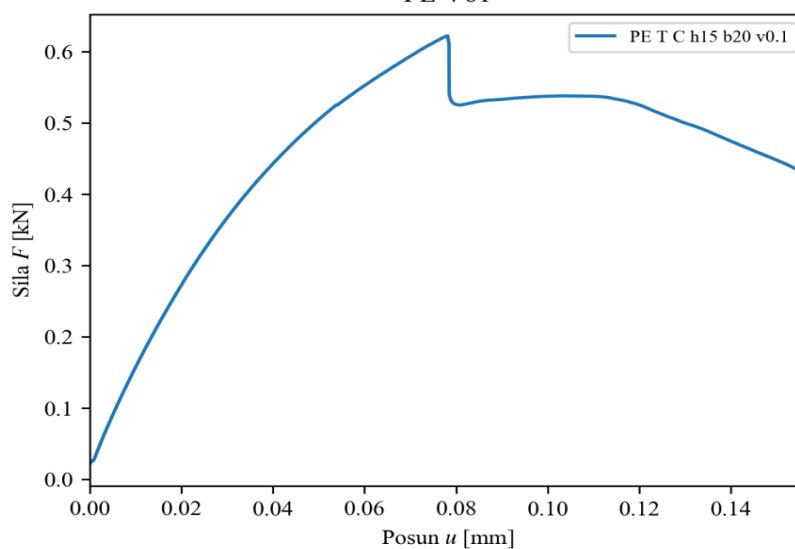


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	0,622	156,87	0,08

Těleso po ukončení zkoušky



PE V61

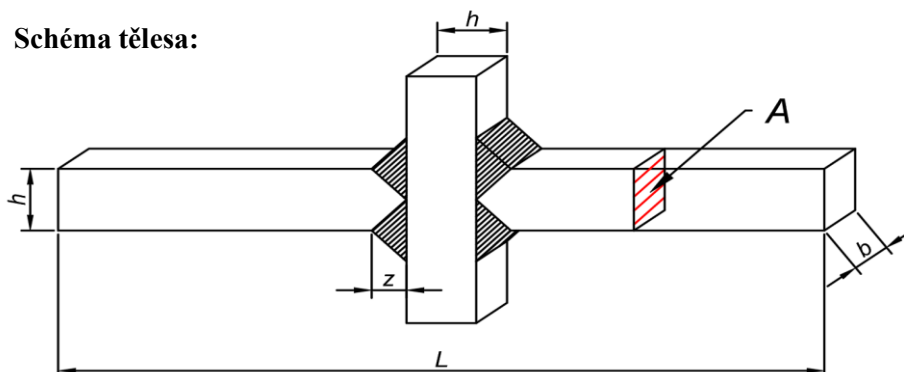


Zkušební těleso č. 131

PE O C h15 b20 v1.0

Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	254,0	14,76	19,81	0,00	292,30

Schéma tělesa:

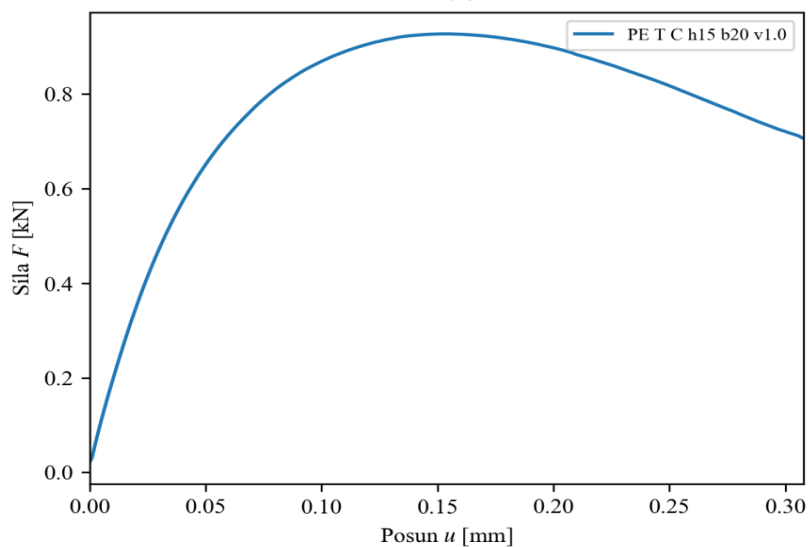


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	0,927	31,37	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PE V62

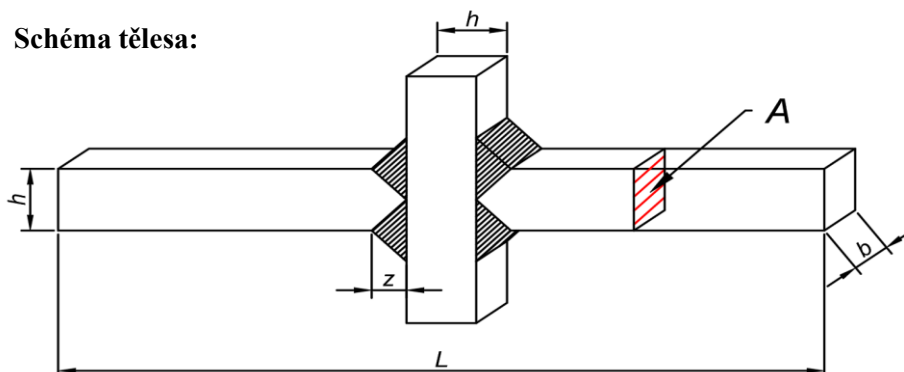


Zkušební těleso č. 132

PE O C h15 b20 v10.0

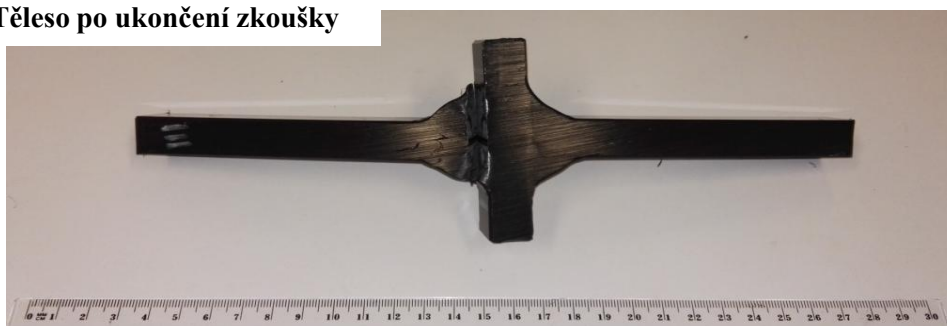
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	254,0	14,70	19,49	0,00	286,42

Schéma tělesa:

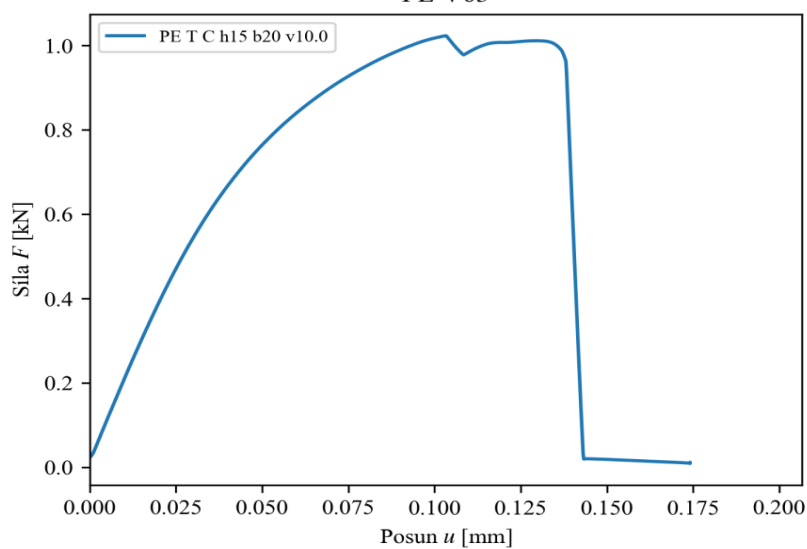


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	1,023	2,68	0,10

Těleso po ukončení zkoušky



PE V63

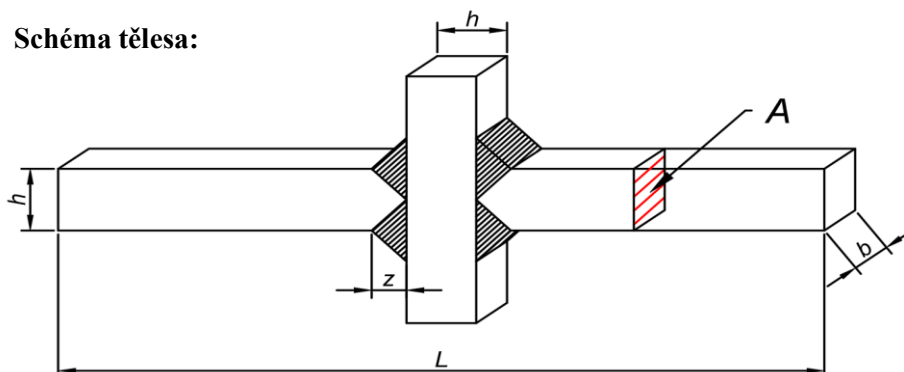


Zkušební těleso č. 133

PE O C h20 b20 v0.1

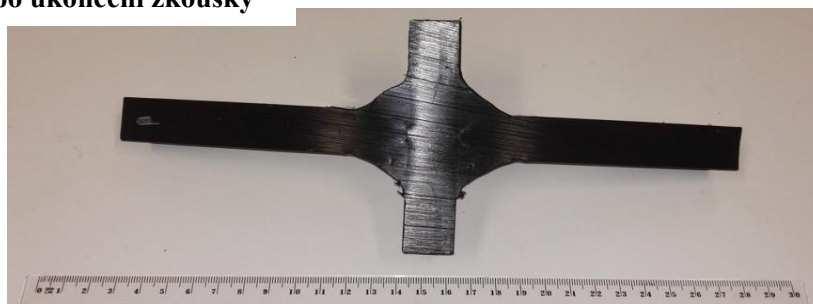
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	259,0	19,76	19,97	0,00	394,51

Schéma tělesa:

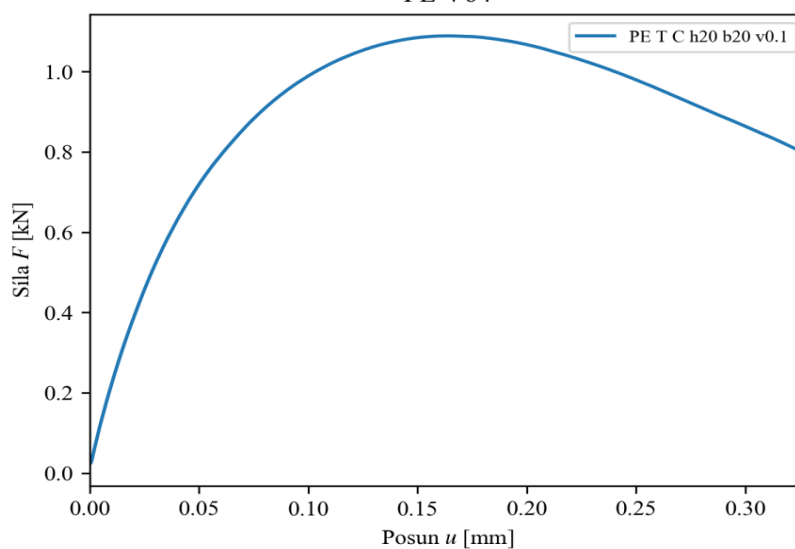


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	1,089	328,14	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V64

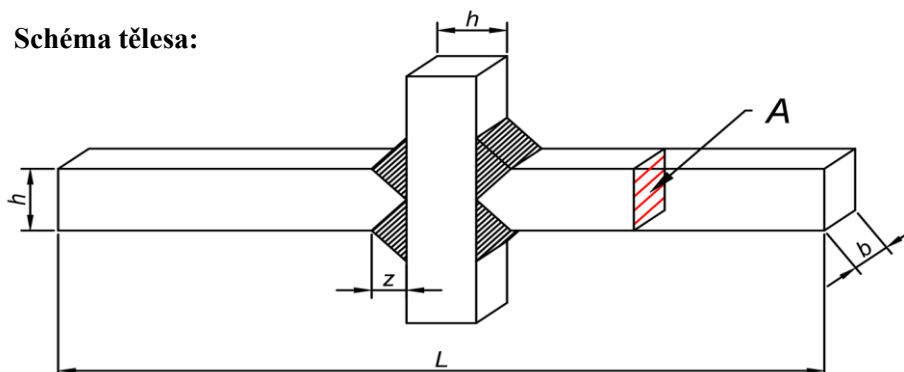


Zkušební těleso č. 134

PE O C h20 b20 v1.0

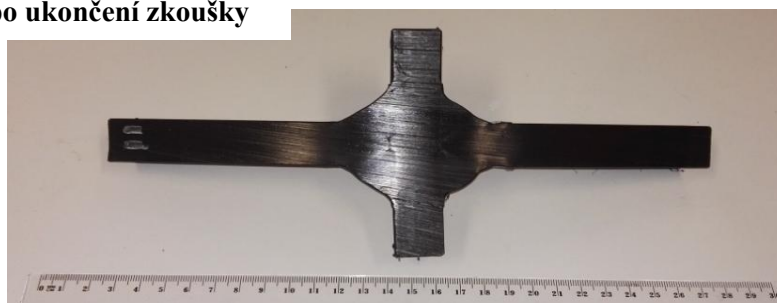
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	259,0	19,82	19,75	0,00	391,25

Schéma tělesa:

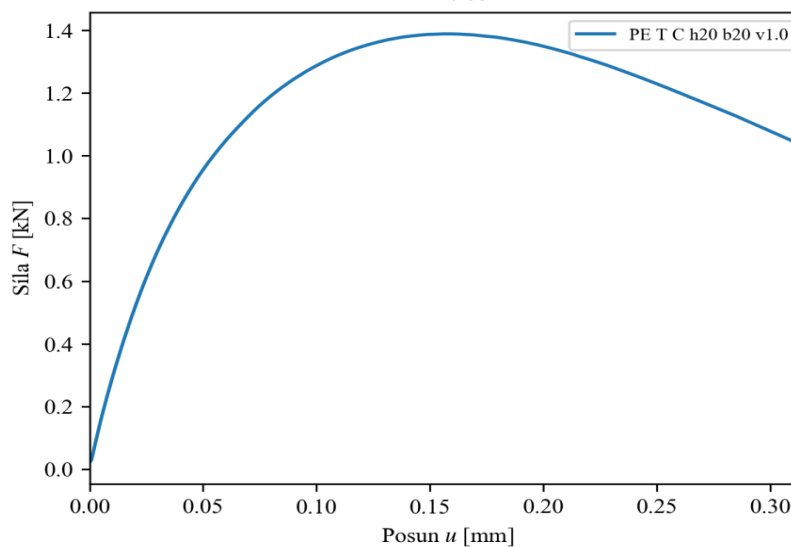


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	1,388	32,18	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V65

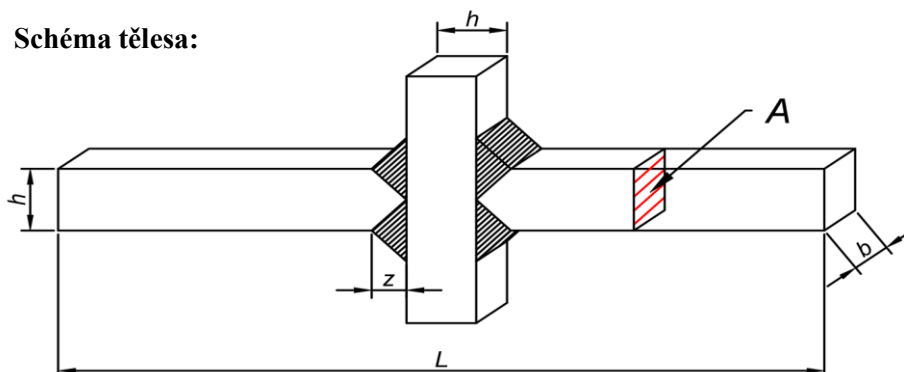


Zkušební těleso č. 135

PE O C h20 b20 v10.0

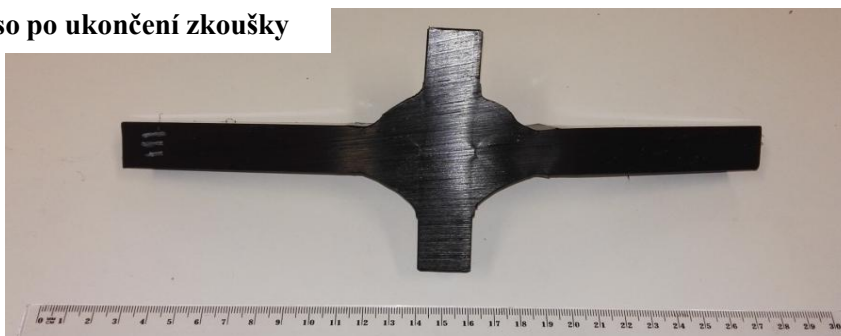
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	259,0	19,80	19,17	0,00	379,37

Schéma tělesa:

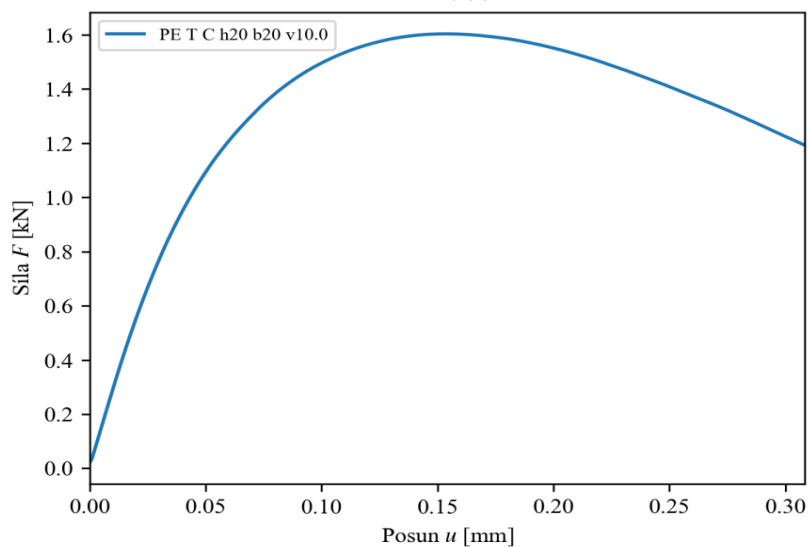


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	1,603	3,68	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PE V66

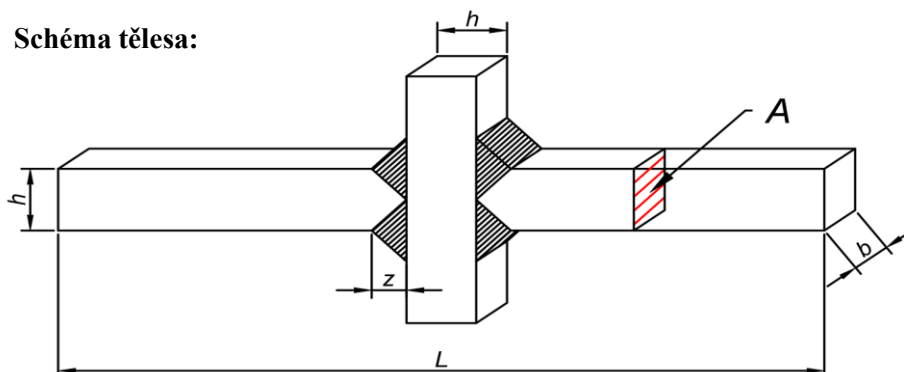


Zkušební těleso č. 136

PE O C h25 b25 v0.1

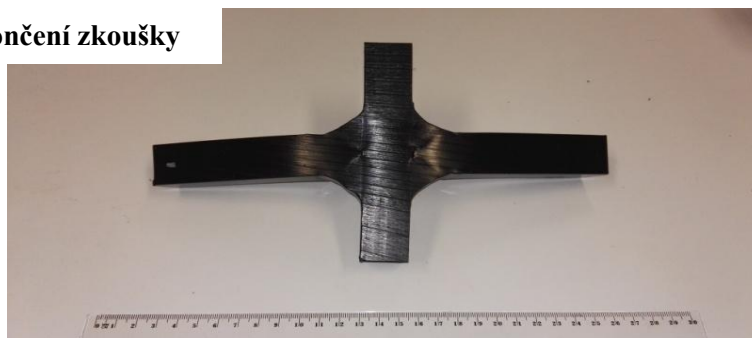
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	264,0	24,80	24,80	0,00	615,10

Schéma tělesa:

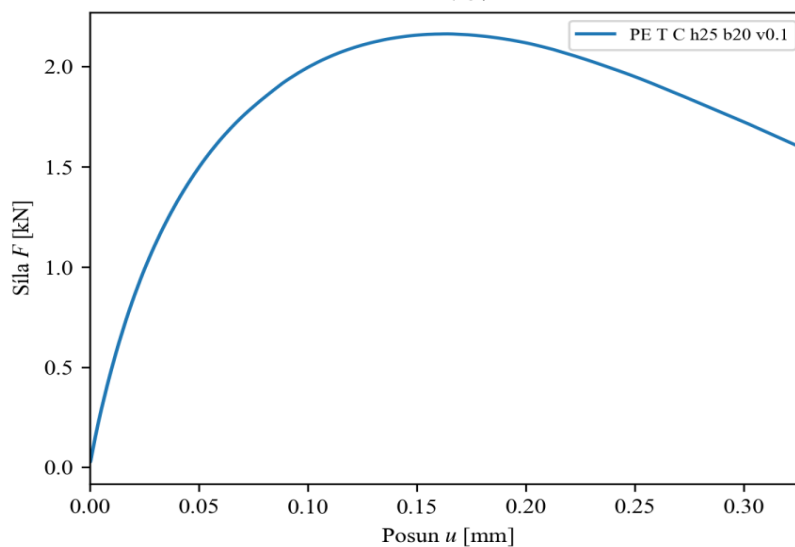


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	0,1	2,164	328,86	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V67

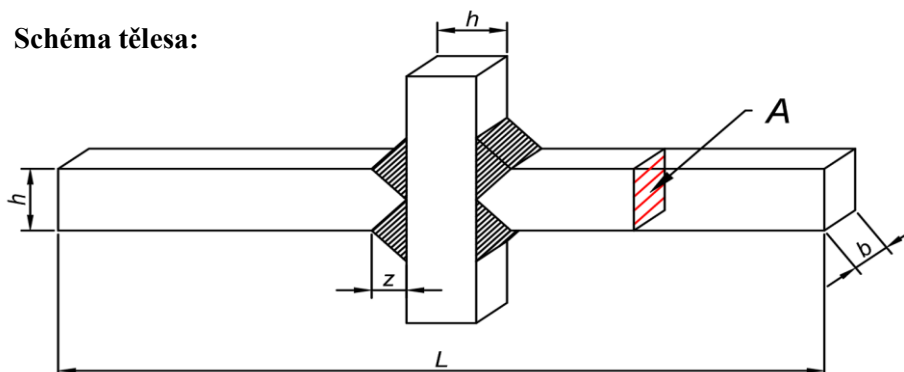


Zkušební těleso č. 137

PE O C h25 b25 v1.0

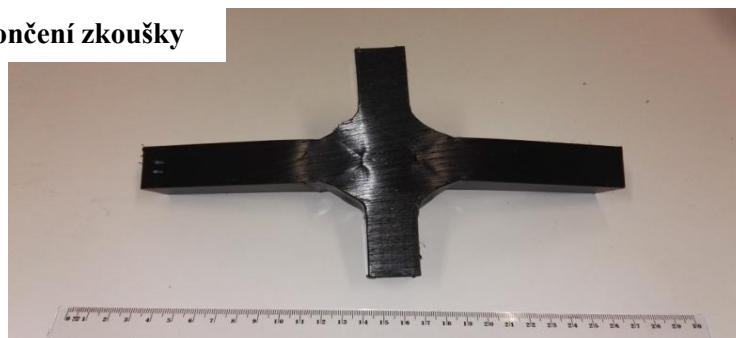
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	264,0	24,79	24,77	0,00	613,92

Schéma tělesa:

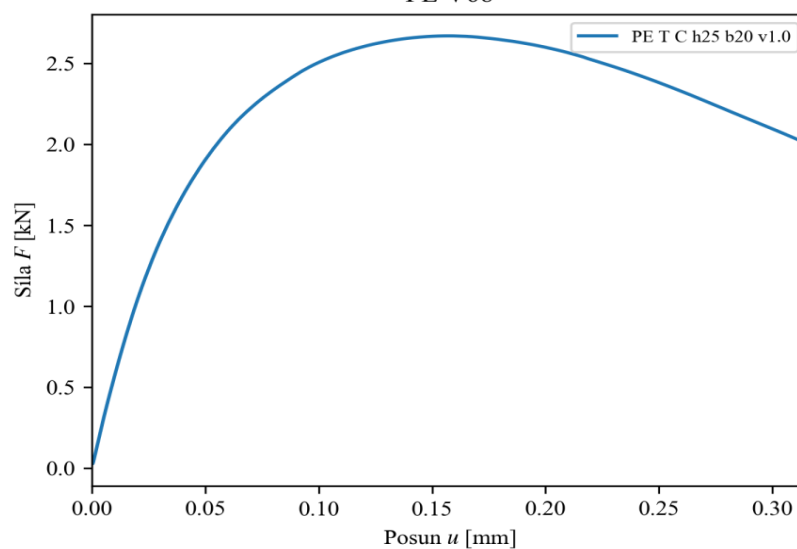


Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	1	2,670	32,13	0,16

Těleso po ukončení zkoušky



PE V68

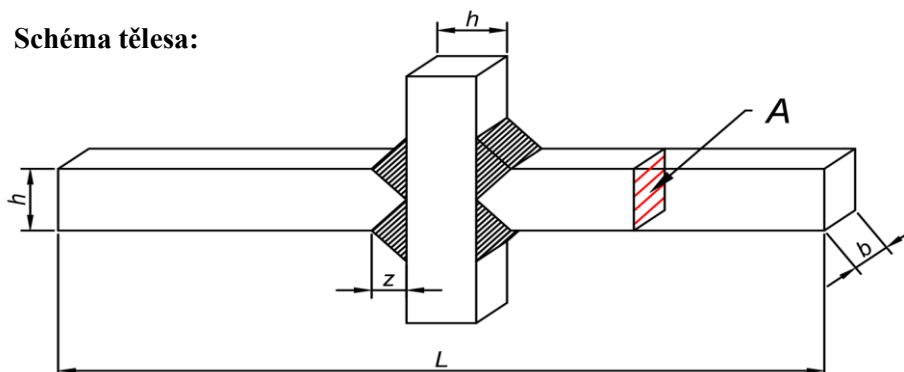


Zkušební těleso č. 138

PE O C h25 b25 v10.0

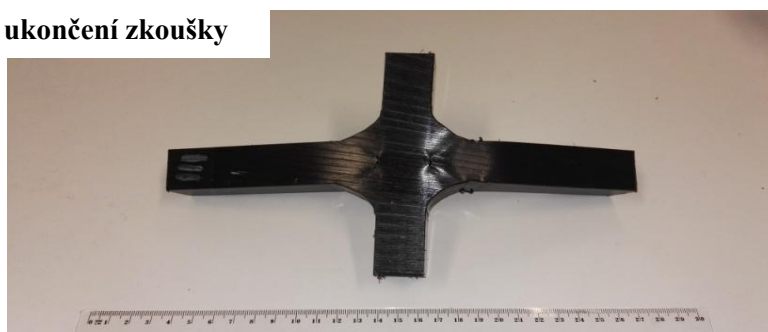
Materiál	Typ tělesa	Rozměry				Plocha průřezu $A \text{ [mm}^2\text{]}$
		$L \text{ [mm]}$	$h \text{ [mm]}$	$b \text{ [mm]}$	$z \text{ [mm]}$	
polyetylén	C	264,0	24,86	24,77	0,00	615,78

Schéma tělesa:



Způsob namáhání	Rychlost zatěžování $v \text{ [mm/s]}$	Maximální síla $F_{\max} \text{ [kN]}$	Čas při F_{\max} $t_{\max} \text{ [s]}$	Posun při F_{\max} $u_{\max} \text{ [mm]}$
Ohyb	10	2,939	3,62	0,15

Těleso po ukončení zkoušky



PE V69

